L. PERISSÉ et R. GODFERNAUX

TRACTION MÉCANIQUE

SUR RAILS ET SUR ROUTES

POUR LES TRANSPORTS EN COMMUN

EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIETE DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

(Bulletins de décembre 1899, janvier et mars 1900.)

PARIS

H. DUNOD & E. PINAT, ÉDITEURS

47 et 49, Quai des Grands-Augustins

1900



de M. de Marchena comme base de notre étude et nous montrerons à nos Collègues les améliorations apportées, depuis cette époque, dans les différentes façons de résoudre l'intéressant problème des transports en commun dans les villes, au moyen des tramways mécaniques.

Nous exposerons également les progrès les plus récents de l'automobilisme, en ce qui concerne les voitures lourdes destinées aux transports en commun.

Mais, avant d'aborder complètement notre sujet, nous croyons devoir indiquer les conditions que doit remplir, selon nous, un tramway urbain, pour satisfaire, aussi largement que possible, les besoins du public d'une grande ville, tout en rendant son exploitation rémunératrice.

Pour le public l'idéal se résume dans ces deux conditions primordiales : *départs fréquents et durée de parcours aussi courte que possible.* Mais il faut aussi que ce mode d'exploitation reste rémunérateur pour la Compagnie exploitante et que le nombre de places occupées dans chaque voiture soit toujours, au moins, le tiers ou les deux cinquièmes du nombre des places offertes. C'est là une question d'espèce, à étudier pour chaque ligne, qui permettra de fixer et la fréquence et la capacité de la voiture.

Il n'en est pas moins vrai que la capacité doit être modérée, variant entre 30 et 35 places, permettant l'emploi de voitures légères, tout au moins comme caisse, sans tenir compte des appareils moteurs dont le poids dépend du mode de traction employé.

L'accès doit en être facile et se faire, soit par les deux plates-formes extrêmes de la voiture, soit par une ouverture médiane, comme dans certains types de construction récente. L'issue des voyageurs descendants doit être, autant que possible, différente de celle des voyageurs montants. Enfin, le plancher ne doit pas être trop élevé, afin de diminuer le nombre des marches donnant accès dans la voiture.

La réalisation de ces desiderata sera souvent, nous le reconnaissons volontiers, difficile, et présentera la plupart du temps des complexités. Mais, à notre avis, c'est vers cet idéal qu'il faut tendre si l'on veut retirer d'un réseau de tramways tout le bénéfice qu'on est en droit d'en attendre et donner satisfaction au public.

Nous avons dit que la durée du parcours doit se faire dans le moins de temps possible ; cela implique différentes conditions essentielles à remplir :

1° L'accès des voitures doit être facile, ce qui entraîne la suppression des impériales qui sont toujours une cause de gêne et occasionnent des arrêts prolongés;

2° Les arrêts ne doivent pas dépasser 25 à 30 secondes, ce qui ne pourra avoir lieu qu'en supprimant les *correspondances* et les contrôles fixes qui en sont la conséquence;

3° Les points d'arrêts doivent être fixes et aussi nombreux qu'il le faut pour recueillir le public, mais les voitures ne doivent pas s'arrêter à la demande d'un voyageur entre les stations. Il ne peut y avoir ni rapidité, ni régularité dans la marche, tant qu'on s'obstinera à confondre un service public avec le transport à domicile.

On augmentera ainsi la vitesse moyenne, tout en diminuant la dépense de force motrice par kilomètre-voiture. Malheureusement, cette dernière restera toujours soumise à l'augmentation inévitable due aux arrêts et ralentissements résultant des encombrements dans les artères très fréquentées. Pour l'éviter il faudrait, comme dans certaines villes américaines, notamment à Boston, faire passer en certains endroits le tramway en souterrain, au-dessous de ces artères à trafic intense. Mais les remaniements des égouts et des canalisations, la présence du Métropolitain, les difficultés d'accès aux stations souterraines, ainsi que les dépenses d'établissement, empêchent d'avoir recours chez nous à ce moyen radical.

Pour obtenir une vitesse moyenne de 12 *km*, qu'il semble raisonnable de ne pas dépasser dans l'intérieur d'une grande ville, il faut des démarrages rapides, ne dépassant pas 10 à 15 secondes, ce qui nécessite des moteurs puissants et une adhérence suffisante.

A ce point de vue, la traction électrique dans une grande ville, avec conducteur soit aérien, soit plutôt souterrain ou avec contact au niveau du sol, présente certains avantages. Car alors les dynamos génératrices, surtout lorsqu'on fait usage d'accumulateurs, peuvent suffire amplement à ces accélérations rapides, tout en ne nécessitant ni des appareils moteurs lourds et volumineux, ni, comme dans certains modes de traction, d'autres appareils destinés à contenir la réserve d'énergie et qui, tout en étant encombrants, sont lourds et d'une installation difficile sur la voiture.

La voiture automotrice, en opposition à la locomotive remorquant plusieurs véhicules, paraît tout indiquée pour la traction

urbaine. Elle est économique, par suite de la réduction du poids mort comparé au poids utile transporté et elle a une adhérence suffisante, puisqu'on peut utiliser le poids total de la voiture et des voyageurs. Cette question de l'adhérence a une véritable importance dans les grandes villes, notamment à Paris où, en outre de rampes souvent assez accentuées, l'état atmosphérique influe énormément sur l'état des chaussées, à tel point que, suivant cet état atmosphérique, telle voiture automotrice pouvant, à certains moments, remorquer plusieurs voitures sur une rampe de 50 *mm*, pourra, dans d'autres, à peine se remorquer elle-même sur cette même rampe.

C'est, du reste, l'exploitation par automotrice qui, non seulement à Paris, mais aussi dans les autres grands centres, soit en France, soit à l'étranger, semble avoir définitivement pris droit de cité pour la traction urbaine.

En cas d'affluence momentanée, soit régulière, soit passagère, elle rend plus avantageux, par suite de son poids mort mieux utilisé, l'usage des voitures de remorque qui, tout en accroissant la capacité de transport, n'augmente guère par voiture remorquée, que de 50 0/0 la dépense d'énergie et les frais de personnel.

Ce n'est, à notre avis, que dans des cas exceptionnels, sur des lignes à trafic très intense, que la voiture à 50 places à bogie et toujours sans impériale, pourrait raisonnablement trouver sa place. Là encore la voiture de remorque, par l'emploi de moteurs suffisamment puissants, viendrait en aide au moment d'une affluence exceptionnelle et momentanée.

Pour répondre au but qu'on veut atteindre, l'automotrice doit remplir certaines conditions. Elle ne doit incommoder ni les voyageurs ni le public de la rue par du bruit, des odeurs, des dégagements de fumée ou de vapeur ; elle doit passer facilement dans des courbes dont le rayon descend jusqu'à 15 *m*; elle doit être capable de circuler à une vitesse moyenne de 12 *km* à l'heure arrêts compris, et d'aborder des rampes de 50 *mm* par mètre en remorquant une voiture d'attelage. L'automotrice doit être, autant que possible, symétrique, afin d'éviter aux terminus, les plaques tournantes, les voies en boucle ou les triangles, dispositifs coûteux et gênants pour la circulation.

Les systèmes d'exploitation par trains, en opposition aux automotrices, conviennent en dehors des villes, lorsque les parcours ont une certaine longueur, ou lorsque la ligne réunit deux centres entre lesquels il y a peu de voyageurs à prendre ou à

laisser, ou bien encore, pour le service de la banlieue des grandes villes, où l'affluence des voyageurs n'existe en semaine que le matin et le soir.

L'agent qui produit la puissance dans les tramways mécaniques est, suivant le cas, la vapeur, l'air comprimé, l'électricité, pour ne citer que les principaux. Mais l'énergie produite par ces agents et destinée à la propulsion des voitures peut être employée de diverses manières; de là différents systèmes de traction.

Nous avons donc classé les divers systèmes de traction mécanique, en prenant comme point de départ le mode de production ou de transmission de l'énergie, parce que ce classement met en parallèle des systèmes comparables entre eux dans une certaine mesure.

Dans une *première classe*, nous avons placé les tramways producteurs de leur énergie. Celle-ci sera, en général, la vapeur, et nous étudierons les différents systèmes de production de vapeur dans les machines « à feu » soit par locomotives, soit par automotrices.

Dans une *deuxième classe*, nous avons classé les systèmes où l'énergie est produite dans une usine fixe, puis emmagasinée dans des réservoirs pendant les arrêts. Nous pouvons citer dans cette catégorie les véhicules à vapeur surchauffée ou locomotives sans foyer, les tramways à air comprimé, les tramways à gaz de ville comprimé, les tramways électriques à accumulateurs. Pour ces véhicules, on se trouve dans l'obligation, au bout d'un certain parcours, de renouveler à un poste de chargement la provision d'énergie mécanique dépensée en cours de route.

Nous avons considéré, dans une *troisième classe*, le cas où l'énergie est produite dans une usine fixe, mais distribuée aux véhicules pendant leur marche, c'est-à-dire au fur et à mesure de leurs besoins. Les systèmes qui rentrent dans cette catégorie sont les tramways funiculaires et les tramways à distributions électriques; celles-ci se faisant, soit par conducteurs aériens, soit par conducteurs souterrains, soit encore par contacts successifs à fleur de sol.

Enfin, dans la dernière et *quatrième classe*, il convient de citer les véhicules à système mixte qui procèdent ordinairement de la deuxième et de la troisième classe.

En ce qui concerne les véhicules sur routes, nous traiterons la question des automobiles pour transports en commun, en indiquant les principaux services en fonctionnement; nous

passerons ensuite en revue les différents systèmes qui ont montré pratiquement qu'ils étaient capables d'un service régulier. Ces véhicules se ramènent à deux catégories : les omnibus automobiles et les trains automobiles. Enfin nous donnerons quelques indications sur les éléments qui doivent servir de base à l'étude des prix de revient de ces transports.

Tels sont les différents points de l'étude que nous avons l'honneur de présenter aujourd'hui à la Société.

PREMIÈRE PARTIE

VÉHICULES SUR RAILS

1re Classe.

Véhicules producteurs d'énergie.

Les véhicules producteurs d'énergie sont les véhicules à vapeur qui portent une chaudière à foyer productrice de cette vapeur. Cette classe comprend :

A. — Les locomotives à vapeur;
B. — Les automotrices Rowan;
C. — — Serpollet;
D. — — Purrey.

On peut ajouter, également, les véhicules sur rails mus par mélange explosif d'air et d'essence de pétrole, tels que les tramways Daimler qui rentrent dans cette catégorie. Signalons également le système à vapeur Kinetic qui a reçu quelques applications aux États-Unis.

A. — Locomotives a vapeur.

En dehors des villes, on emploie avec avantage les locomotives à vapeur pour la traction des tramways. Celles-ci sont d'un type spécial pour éviter, notamment, les retournements aux extrémités, les organes sont enfermés dans des boîtes protectrices, les cheminées sont agencées pour éviter les incendies, etc.

Parmi les exemples pris dans la banlieue de Paris, nous citerons le tramway de Paris à Saint-Germain, qui emploie de Courbevoie à Saint-Germain les locomotives à vapeur.

Un type très analogue est également employé par la Compagnie

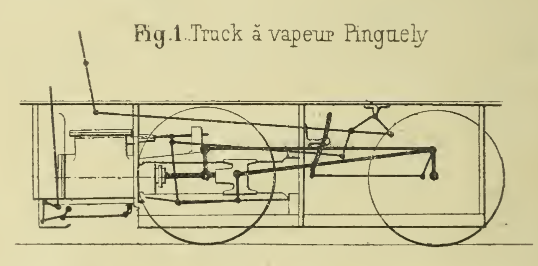
du chemin de fer de Paris à Arpajon pour son service de nuit dans Paris. Nous en donnons un schéma. Voici les principales caractéristiques de ces machines *(fig. 1 et 2. Pl. 226)*.

Poids de la locomotive à vide	14 *t*
— — en charge complète .	17 *t*
Adhérence à moitié charge	13,5 *t*
Surface de chauffe totale	28 m^2
Surface de grille	0,70 *m*
Pression de la vapeur	12 *kg*
Dimension de la machine	D = 290 *mm* C = 320 *mm*
Diamètre des six roues motrices	0,85 *m*
Puissance de traction $0{,}65\,\frac{pd^2l}{D}$	2 470 *kg*
Longueur	6,40 *m*
Largeur	2,10 *m*
Hauteur maximum	3,35 *m*

La Compagnie du chemin de fer de Paris à Arpajon emploie en dehors de Paris, pour la traction de ses trains un type de machine plus fort pesant 25 *t* en charge. L'exploitation se fait avec 18 de ces locomotives.

La maison Pinguely de Lyon, parmi bien d'autres, construit également des locomotives de tramways à mouvements complètement enfermés; ce type est en fonctionnement sur le réseau de la Compagnie des tramways à vapeur de l'Aude, sur celui des tramways de Saumur, etc.

Fig. 1. Truck à vapeur Pinguely



On peut citer également, parmi les locomotives à vapeur, les trucks à vapeur du même constructeur qui sont employés sur la ligne de Versailles à Maule. Il s'agit de véritables petites locomotives à vapeur munies d'une chaudière verticale et actionnées par une machine des plus simples *(fig. 1)*. Sur ces bogies moteurs viennent s'appuyer des caisses à un seul truck à l'arrière

dont une partie du poids se trouve ainsi reportée sur le truck d'avant et en augmente l'adhérence.

Voici les principales caractéristiques de ces trucks moteurs :

Poids à vide du truck et de la voiture. . . .	14 300 *kg*
Poids en ordre de marche avec la voiture . .	20 750 *kg*
Effort de traction.	1 768 *kg*
Poids adhérent.	15 300 *kg*
Surface de chauffe totale	18,4 m^2
Surface de grille	0,38 m^2
Dimension des cylindres	D = 250 *mm* C = 370 *mm*
Diamètre des roues	0,85 *m*

Il s'agit, en somme, d'un système intermédiaire entre la locomotive et l'automotrice à truck interchangeable, système Rowan, que nous allons étudier.

B. — Système Rowan.

Les automotrices Rowan se composent d'une caisse reposant à l'avant sur un bogie moteur à deux essieux et à l'arrière sur un bogie à un seul essieu relié au premier par un système articulé facilitant le passage dans les courbes. Les longerons qui supportent la caisse et reposent sur les chemins circulaires du bogie avant, peuvent être soulevés, au moyen d'un vérin, et séparés du bogie qui, alors, peut être retiré sans difficulté, afin de faire à l'appareil moteur et à la chaudière les réparations nécessaires.

Les voitures Rowan (*fig. 1, Pl. 227*) n'ont pas d'impériale, mais ont généralement deux plates-formes, l'une derrière la machine, l'autre à l'arrière de la voiture.

La Compagnie générale des Omnibus de Paris possède quatorze de ces automotrices ; le nombre des places offertes est de 43. (21 sur les plates-formes et 22 à l'intérieur.)

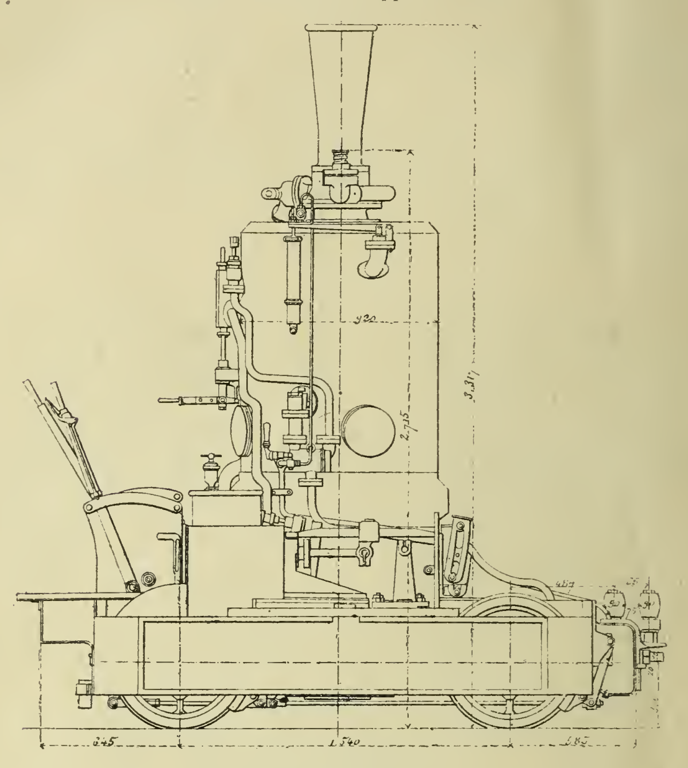
La longueur totale de la voiture est de 9,30 *m* et la distance de l'essieu d'arrière à l'axe du bogie est de 5,68 *m*.

Le poids total en charge peut se décomposer comme suit :

Caisse	3 500 *kg*
Châssis, moteur et bogie.	8 000
Voyageurs.	3 150
Total.	14 650 *kg*

La chaudière *(fig. 2)*, placée sur le bogie d'avant, est verticale. Son enveloppe extérieure est cylindrique et en deux parties, ce qui permet le nettoyage ; quant au foyer il est également cylindrique et recouvert par un parallélépipède de forme rectangulaire traversé par des tubes faiblement inclinés, au travers desquels circule l'eau de la chaudière ; ceux-ci sont chauffés extérieurement par les gaz chauds du foyer.

Fig. 2. Chaudière et appareil moteur.



Les tubes d'une longueur de 0,565 *m* et de 38 *mm* de diamètre extérieur sont au nombre de 131 et donnent avec le foyer une surface de chauffe de 10,45 m^2. La surface de la grille est de 0,45 m^2, le timbre de 16 *kg*, et le volume d'eau contenu dans la chaudière de 400 *l*.

Les chaudières, chauffées au coke, ont une vaporisation active, même au tirage naturel, qui est celui généralement employé. Avec le tirage forcé elles peuvent produire jusqu'à 90 *kg* de vapeur par mètre carré de surface de chauffe.

au nombre de deux, disposés latéralement à la 2) sur le bogie, transmettent le mouvement des oues motrices par l'intermédiaire d'un balancier. n est du système Brown, où la coulisse d'un moteur par le balancier du second et réciproquement.

dres horizontaux ont un diamètre de 0,166 *m* et une 0,340 *m* ; le diamètre des roues motrices est de 0,620 *m* rt de traction théorique, avec une pression dans la chau- de 14 st de 2 115 *kg*.

cylindres la vapeur est évacuée, soit directe- phère, soit dans un condenseur à air, placé

oitures en service à la Compagnie des Omni- tion de la ligne Louvre-Boulogne-Saint-Cloud- sont munies d'une chaudière semblable à la pré- ais formée de deux corps cylindriques réunis à leur érieure par une tubulure horizontale ; il y a donc deux es moteurs, également au nombre de deux, sont placés les deux corps de chaudière et actionnent directement un s essieux du bogie, relié au second par une bielle d'accouplement.

Cette dernière disposition n'a pas donné toute satisfaction et la Compagnie des Omnibus donne la préférence à la première : la conduite du feu est plus difficile, le mécanisme est d'un accès moins facile, le graissage est pénible et l'usure plus rapide, par suite des poussières et des escarbilles entraînées.

Signalons enfin que l'un des trucks Rowan a été muni par la Compagnie Générale des Omnibus d'un générateur tubulaire Niclausse sur lequel on procède actuellement à une série d'essais. Les dimensions d'encombrement de cette chaudière sont 1,27 *m* × 1,20 *m*.

De cette description sommaire du système Rowan, on peut conclure aux avantages suivants :

Interchangeabilité des systèmes moteurs ;

mort du véhicule proprement dit et meil-

le vapeur par l'emploi d'un

t à récupérer une partie

Mouvements de lacets résultant de la tracti
d'avant ;

Dissymétrie de la voiture obligeant à un retc
terminus, qui, en raison de la grande longueur
s'effectuer par voies en triangles ou en boucles.

Odeur et chaleur pouvant incommoder les voyage

Applications. — Les principales applications françaises
tème Rowan sont les suivantes :

1° Ligne de Tours à Vouvray (16 *km*) ne c
très faibles rampes. L'exploitation se fait au m
plus un truck moteur de rechange. Les dépa
par heure dans chaque sens; chaque voitu
un parcours moyen de 2 600 *km* ;

2° Les voitures de la Compagnie Générale
d'un type analogue à celles de Tours à Vouvray, fon
beaucoup plus intensif ; elles font le service d'Auteuil
et du Louvre à Boulogne (nombre de places offertes 40

3° Les tramways d'Alger emploient également le s
Rowan. Les voitures circulant sur les voies de 1 *m*, sont
50 places et du poids de 10 *t*, en ordre de marche. Le truck moteur, qui pèse 6 *t*, comporte un seul corps de chaudière vaporisant 1 000 *l* d'eau à l'heure et timbré à 10 *kg*. Le moteur de 166 × 350 *mm* est du type à balancier : le condenseur a une surface de 120 m^2. Ces automotrices remorquent sur des rampes de 50 *mm* une voiture d'attelage à bogie contenant 40 voyageurs et des bagages.

Depuis la publication du mémoire de M. de Marchena et de notre travail sur la *Traction mécanique des tramways* en 1897, il ne semble pas que ce mode de traction ait pris d'extension. On paraît lui préférer, lorsque la vapeur est admise comme force motrice, les systèmes qui donnent une plus grande élasticité.

C. — Système Serpollet.

La chaudière à vaporisation
pollet, est la caractéristique
Cette chaudière est du t
mais l'espace réservé à c
limite. L

alimentaire. En présence de ce laminage, la vaporisation est instantanée et celle-ci est d'autant plus active et la pression d'autant plus élevée que la quantité d'eau en circulation est plus grande; de là une certaine élasticité permettant de faire face aux efforts variables à produire.

Les tubes ont la forme en U renversé ou la forme circulaire ; ils sont en acier étampé et l'espace réservé pour la circulation de l'eau varie entre 2 et 5 *mm*. En réunissant, au moyen de raccords spéciaux à écrous, un certain nombre de ces éléments, on forme une chaudière dont la surface de chauffe dépendra du nombre d'éléments reliés ensemble.

Les éléments sont timbrés à la pression de 94 *kg*, mais la pression de marche pour les tramways ne dépasse pas généralement 25 *kg*, pression inférieure à celle qui peut être supportée par les cylindres moteurs timbrés à 35 *kg*.

Le générateur Serpollet (*fig. 3, Pl. 226*), employé par la Compagnie Générale des Omnibus, se compose de deux faisceaux, l'un horizontal, au-dessus de la grille et soumis au rayonnement du foyer, l'autre vertical chauffé par les gaz de la combustion se rendant à la cheminée.

Les trois éléments inférieurs du faisceau horizontal sont formés de tubes concentriques, afin de donner une plus grande résistance à la pression intérieure. Les deux premières rangées du faisceau vertical sont également composées de tubes concentriques et la dernière, avant la sortie de la vapeur, est en tubes creux, dans le but de former un petit réservoir de vapeur. Afin de bien chicaner les gaz chauds, on a soin de disposer les tubes en quinconce.

Tout cet ensemble de tubes est entouré d'une enveloppe en tôle mince revêtue intérieurement de matières réfractaires, puis d'une seconde enveloppe, également en tôle, garnie d'amiante, et séparée de la première par un espace vide où circule un courant d'air, pour augmenter le refroidissement; ce courant d'air est activé par l'échappement de la vapeur des cylindres dans la cheminée avec laquelle l'espace libre communique.

La cheminée du générateur, qui débouche au niveau de la toiture de l'impériale, est également à double enveloppe garnie d'amiante.

La surface de chauffe est de 8,35 m^2 et la surface de grille de 0,40 m^2. Avec l'échappement dans la cheminée, mais sans souffleur, l'activité de la combustion est d'environ 110 *kg* de coke

par mètre carré de grille et par heure et la vaporisation de 4 à 5 *kg* d'eau par kilogramme de coke.

Avec le souffleur on peut, paraît-il, produire jusqu'à 90 *kg* de vapeur par mètre carré de surface de chauffe; mais c'est une limite extrême sur laquelle il ne faut pas compter en pratique; on peut admettre une production variant entre 30 et 80 *kg*, suivant la quantité de combustible brûlée sur la grille.

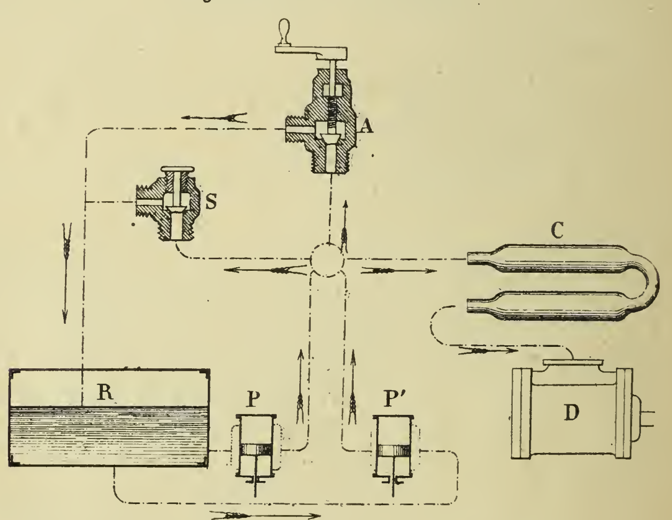
La vapeur est généralement surchauffée, en sortant de la chaudière, à une température de 250°; mais, pour cela, il faut avoir soin de maintenir dans le foyer un feu vif, et ne pas injecter une trop grande quantité d'eau dans les tubes.

La chaudière, installée sur la plate-forme avant de la voiture, contre la paroi qui la sépare du compartiment réservé aux voyageurs, a les dimensions suivantes :

Longueur dans le sens transversal	1,774 *m*
Largeur dans le sens de l'axe de la voiture. .	0,894
Hauteur	1,260

La vapeur, en quittant le générateur, se rend à l'appareil moteur. Mais comme le travail à produire varie à chaque instant,

Fig. 3. Schéma de l'alimentation.



suivant le profil de la ligne et la vitesse, il est de toute nécessité de pouvoir faire varier également la quantité de vapeur à introduire dans le générateur, suivant le travail à produire et cela par un procédé simple mis à la disposition du mécanicien.

On a, dans ce but, installé le dispositif réprésenté (*fig. 3*). C est le générateur, D le cylindre moteur, R le réservoir d'alimentation, S une soupape de sûreté, P′ une pompe d'alimentation à main et P une pompe d'alimentation automatique, actionnée par l'essieu moteur au moyen d'un excentrique, A est un appareil de réglage à la disposition du mécanicien.

Si, au moment du départ, le mécanicien actionne à la main la pompe P′, l'eau du réservoir sera refoulée, comme l'indiquent les flèches, dans le générateur, puis ensuite dans le cylindre. La voiture se mettant en marche, la pompe automatique P aspire, à son tour, l'eau du réservoir et la refoule dans le générateur; la pompe à main peut donc être arrêtée.

Si la soupape dont est muni l'appareil régulateur A est fermée, toute l'eau aspirée sera refoulée dans le générateur. Comme la pompe d'alimentation est calculée pour débiter un volume d'eau supérieur au volume maximum dépensé par la machine, on comprend aisément qu'en ouvrant plus ou moins, par un dispositif quelconque, cette soupape, on puisse introduire dans le générateur et, par suite, dans le cylindre, un volume d'eau et de vapeur variable suivant les besoins. Dans ce cas, le surplus de l'eau fourni par la pompe retourne au réservoir, comme l'indique la flèche.

Dans les premières voitures Serpollet, cette manœuvre du robinet A se faisait au moyen d'une vis. Dans les nouvelles voitures, cette soupape est chargée par un levier sur lequel un ressort à boudin exerce un effort déterminé. Le ressort est attaché à un curseur dont la distance au point d'articulation est variable et réglable à volonté, de manière à faire varier la charge sur la soupape.

La soupape de sûreté, placée sur la conduite, est réglée pour la pression maximum admise dans le générateur.

L'appareil moteur des automotrices de la Compagnie Générale des Omnibus est représenté (*fig. 4, Pl. 226*). Deux cylindres actionnent un arbre intermédiaire avec manivelles à 90°. Sur cet arbre sont fixés trois pignons dentés, entraînant, au moyen de chaînes, l'essieu d'avant et d'arrière. Les pignons, calés sur les essieux, ont un diamètre plus grand que ceux de l'arbre intermédiaire; le rapport des vitesses est de 2,5, de sorte que, à la vitesse de 12 *km*, le moteur fait 195 tours à la minute.

Afin d'éviter l'emploi de la chaîne et les inconvénients qui lui sont inhérents, on a construit quelques automotrices à action

directe, notamment pour les tramways de Cherbourg, de Lille, d'Haïti, mais ce système a été abandonné en raison de ses multiples inconvénients.

Le changement de marche se fait par le moyen d'une coulisse.

Afin de mettre l'appareil moteur à l'abri de la poussière et de la boue, on enferme celui-ci dans une caisse en tôle, mise en communication avec le cendrier du foyer, dans le but d'aspirer et de brûler les vapeurs d'huile.

Les automotrices de la Compagnie Générale des Omnibus *(fig. 2, Pl. 227)* sont au nombre de 60; les cylindres ont un diamètre de 0,160 *m*, une course de 0,150 *m*, avec un diamètre de roues motrices de 0,820 *m*.

On emploie généralement dans les cylindres une admission variant entre 50 et 55 0/0.

En service courant, il semble qu'on peut admettre une dépense de vapeur par cheval-heure indiqué de 9 *kg*.

Quelques expériences faites sur la ligne Bastille-Clignancourt (rampe moyenne de 11 *mm* par mètre) ont donné, comme dépense de vapeur par cheval-heure *effectif* :

Avec admission de	31 0/0.	6 *kg*
—	50 0/0.	6,7
—	66 0/0.	7,2

Le système Serpollet présente le grand avantage, pour la traction urbaine, d'être pratiquement inexplosible; la vapeur est obtenue à un état de surchauffe favorable à la marche et aussi à l'échappement invisible. Les organes de manœuvre sont simples à régler.

On lui reproche souvent un poids un peu excessif, et la difficulté où l'on est d'avoir de très bons mécaniciens. Certains inconvénients tels que l'odeur et le bruit n'attirent pas sur ce système la faveur du public parisien.

Les automotrices Serpollet ont été employées à Paris dès 1891 par la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine (1). Depuis 1897 elles sont également utilisées par la Compagnie Générale des Omnibus (2), comme nous venons de le voir plus haut.

(1) Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, août 1895 (G. Lesourd).

(2) Voir : *La Locomotion automobile* 1897. Dépense de vapeur des moteurs à vapeur surchauffée système Serpollet (P. Guedon).

D. — Système V. Purrey.

La Compagnie Générale des Omnibus a mis en essai depuis deux ans des voitures automotrices à vapeur du système de M. V. Purrey de Bordeaux. Six de ces véhicules sont actuellement en circulation régulière sur la ligne Louvre-Boulogne. La Compagnie Générale des Omnibus a commandé à M. Purrey et à la Société Lyonnaise de mécanique et d'électricité, 34 nouvelles automotrices qui feront en 1900 le service des lignes Bastille-Porte Rapp et Gare de Lyon-Place de l'Alma.

Les voitures Purrey (*fig. 3, Pl. 227*) sont très analogues, comme aspect extérieur, aux voitures Serpollet : chaudière à l'avant, moteur entre les deux essieux, transmission par chaînes.

La chaudière, genre du Temple, se compose de deux collecteurs reliés d'une part par deux tubes de 35 *mm* de diamètre intérieur formant retour d'eau et soustraits à l'action du feu, et d'autre part par un faisceau tubulaire comprenant 30 tubes de vaporisation et 11 de surchauffe. Le générateur est timbré à 25 *kg;* après plusieurs expériences, l'Administration des mines a autorisé la suppression du niveau d'eau. La surface de chauffe est de 6,78 m^2, la surface de surchauffe 2,49 m^2.

La grille, de 0,42 m^2 de surface, est inclinée; elle est alimentée par une trémie latérale contenant une réserve suffisante de coke pour un parcours de 20 *km*. L'alimentation se fait par une pompe automatique et un petit cheval alimentaire ; la réserve d'eau est de 500 *l*. On emploie jusqu'à présent, sans inconvénient, l'eau de Seine.

Le moteur est à deux cylindres horizontaux, avec manivelle à 90°; il est des plus simples; le diamètre est de 175 *mm*, la course de 162 *mm*; la vitesse de 312 tours correspond à une vitesse de marche de 15 *km* à l'heure.

La transmission se fait de l'arbre moteur aux deux essieux moteurs au moyen de 4 chaînes à tension réglable, enfermées deux à deux dans un carter. L'empattement du véhicule peut ainsi varier de 1,875 *m* à 1,925 *m* (moyenne 1,90 *m*).

Le poids total des automotrices en service est le suivant :

		Essieu AV.	Essieu AR.	Total.
A vide	*kg*	6 040	3 200	9 240
En charge	*kg*	6 530	6 090	12 620

Les avantages et les inconvénients du système Purrey paraissent être les suivants :

Avantages. — Peu d'odeur, peu de bruit, panache de vapeur réduit au minimum, allumage rapide, simplicité de manœuvre, simplicité des mécanismes et, par suite, diminution des chances d'avarie, poids moindre que les autres systèmes.

Inconvénients. — Moteur central qui nécessite la visite sur fosses; obligation pour le remplacement d'un tube d'opérer de l'intérieur de la voiture, etc.

L'expérience très importante que tente en ce moment la Compagnie Générale des Omnibus permettra seule de se faire une opinion sur la valeur réelle de ces voitures.

2e Classe.

Véhicules accumulateurs d'énergie.

Les principaux systèmes de véhicules de la 2e classe, c'est-à-dire ceux où l'énergie nécessaire à la force motrice est accumulée sous une forme différente suivant le système, sont :

1° Les véhicules avec accumulateurs électriques ;
2° — avec chaudière à vapeur surchauffée sans foyer ;
3° — à air comprimé ;
4° — à gaz comprimé.

On peut également comprendre dans cette classe les tramways à vapeur surchauffée au moyen de la lessive de soude, les tramways à ammoniaque, à acide carbonique, etc., qui ne sont encore que très peu employés et pour lesquels la pratique n'a pas encore prononcé. Nous nous contentons donc de les mentionner simplement ici. Quant aux premiers, nous les examinerons successivement dans l'ordre indiqué.

Mais, avant d'entrer dans la description des tramways à accumulateurs électriques, il nous semble indispensable de donner des renseignements généraux sur le mode de traction des véhicules électriques, sur les différents modes d'adaptation des électromoteurs aux voitures, enfin de parler des dispositions d'ensemble et du mode de construction des tramways eux-mêmes.

Les renseignements donnés ici nous dispenserons de revenir plus loin sur ce même sujet, qui est commun aux divers systèmes de traction électrique des 2e, 3e et 4e classes.

Renseignements généraux sur les tramways électriques.

I. — Moteurs de traction.

Supposons un moteur à 4 pôles *(fig. 4)* semblable à ceux qu'on emploie pour la traction. Nous voyons sur le schéma, en NN′, les 2 bobines qui produisent un flux magnétique dans le sens des lignes pointillées; chacun de ces flux se divise en deux et la fermeture se fait par la carcasse de l'électromoteur. La direction du flux dépend de l'enroulement et du sens du courant dans les bobines de l'inducteur (règle de Maxwell), mais on s'arrange toujours pour avoir des pôles opposés deux à deux. Il en résulte que tout changement du sens du courant dans les bobines de l'inducteur change la polarité.

Fig. 4. Dynamo-motrice

L'armature, formée d'un noyau en fer doux traversé par le flux magnétique, est entourée d'une couronne de fils conducteurs traversés par le courant électrique. Ce courant pénètre par les balais b et b'.

Le bobinage de ces fils autour de l'armature est disposé de telle façon que, la circonférence de cette armature étant divisée en quatre quadrants, les fils des deux quadrants opposés, et faisant face aux pôles de même nom, recevront un courant de même direction.

Ainsi, dans l'exemple actuel, les fils teintés en noir seront parcourus par un courant d'avant en arrière et ceux en blanc, d'arrière en avant. Il est utile de remarquer que, par suite du collecteur, cette répartition du courant sera toujours la même, quelle que soit la position de l'armature pendant sa rotation.

Nous avons donc des conducteurs de longueur L situés dans un champ magnétique φ, traversés par un courant I; or, d'après les lois de l'électro-magnétisme, on sait que, dans ce cas, ces conducteurs sont soumis à une force proportionnelle aux trois facteurs φ, L et I et qui sera perpendiculaire au conducteur et aux lignes de force. Il en résultera donc un mouvement de rotation de l'armature produisant un *couple* de rotation autour de l'axe du moteur.

Par suite de cette rotation dont la vitesse ira en croissant il se produira, d'après des lois de l'induction, une force électromotrice E qui sera opposée à celle V alimentant le réseau : cette force, qu'on appelle *force contre-électromotrice* induite, a pour valeur : $Nn\varphi$, N étant le nombre de fils autour de l'armature, n le nombre de tours par seconde et φ le flux inducteur.

Cette force contre-électromotrice a une grande importance dans le fonctionnement des moteurs, puisque c'est d'elle que dépend l'intensité du courant qui traverse le moteur.

L'intensité du courant qui, s'il n'y avait pas de force contre-électromotrice, serait : $I = \frac{V}{r}$, en appelant r la résistance intérieure, deviendra :

$$I = \frac{V - E}{r}.$$

La puissance électrique disponible aux bornes de la réceptrice sera égale à :

$$EI = \frac{E\,(V - E)}{r} = Nn\varphi I.$$

Or cette puissance est égale au couple multiplié par l'angle décrit dans une seconde.

On aura donc : $$Nn\varphi I = C \times 2\pi n.$$

d'où : $$C = \frac{N\varphi I}{2\pi}.$$

De là cette première conséquence que le couple moteur est *proportionnel au courant et au flux inducteur.*

D'un autre côté : $$E = V - rI.$$

On aura donc : $$Nn\varphi = V - rI.$$

D'où : $$n = \frac{V - rI}{N\varphi}.$$

En général la chute du potentiel due à rI est toujours très faible relativement à V ; on peut donc admettre en pratique :

$$n = \frac{V}{N\varphi}.$$

D'où cette seconde conséquence que le nombre de tours d'un moteur est *proportionnel à la différence du potentiel aux balais et en raison inverse du flux inducteur et du nombre de fils entourant l'armature.*

Ces deux lois importantes servent de base au fonctionnement des moteurs de traction et à la régulation de leur vitesse, comme nous le verrons un peu plus loin.

Excitation. — L'excitation du moteur, c'est-à-dire la production du champ magnétique, peut être obtenue de trois façons différentes :

1° Le courant qui traverse les bobines inductrices est produit par une source d'électricité indépendante du moteur, *excitation indépendante ;*

2° Ce courant est pris en dérivation aux bornes du moteur, *excitation en dérivation* ou *shunt ;*

3° Enfin, ce courant est produit par le courant principal lui-même, c'est l'*excitation en série.*

Nous dirons quelques mots de ces différents modes d'excitation.

Si l'excitation indépendante ou en dérivation a l'avantage de donner des moteurs où la vitesse varie peu avec les efforts, si, sur les fortes déclivités, ces moteurs, en devenant générateurs, permettent de limiter la vitesse et de faire frein ; si, en même temps, ils permettent la récupération, dans le cas de pentes accentuées, chose évidemment avantageuse sur les lignes à traction par accumulateurs, ils ont, d'un autre côté, le grave inconvénient de rendre plus difficile l'isolement des bobines inductrices et de les rendre plus volumineuses.

C'est ce qui, jusqu'ici, en a limité l'emploi. En Allemagne, cependant, dans ces dernières années, ces moteurs ont été employés par Siemens et Halske, sur les lignes à fortes déclivités de Barmen et sur celles de Halle. Sur les chemins de fer, où la constance des vitesses est plus nécessaire que sur les tramways, peut-être ces moteurs trouveront-ils leur emploi dans l'avenir.

Malgré tout, c'est encore l'excitation en série qui est la plus répandue et la plus pratique. Elle a l'inconvénient de rendre difficile le maintien d'une vitesse constante, de ne pouvoir permettre l'utilisation des moteurs comme frein, sans les isoler de la conduite principale avec inversion du courant inducteur, mais, par contre, la construction et l'entretien des bobines inductrices sont plus simples et moins coûteux, et les démarrages, en cas de baisse de voltage accidentel, sont toujours assurés. Aux États-Unis tous les moteurs sont excités en série.

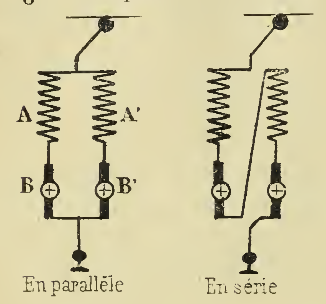
L'excitation compound, c'est-à-dire celle à double enroulement des inducteurs, l'un en série, l'autre shunt, aurait l'avantage de

régulariser les vitesses des moteurs en série aux faibles charges, mais, par suite de la complication de la construction des moteurs, elle n'a pas été employés sur les tramways.

Accouplement des moteurs. — Lorsque deux moteurs, comme c'est le cas le plus général, sont installés sur une voiture, ceux-ci peuvent être accouplés de deux manières différentes : soit en parallèle, soit en série *(fig. 5).*

Dans le second cas, en supposant les moteurs excités en série, pour un même courant donné, le couple moteur total sera double de celui des moteurs en parallèle.

Fig.5.Accouplement des moteurs



D'un autre côté, chacun des moteurs n'ayant plus qu'une différence de potentiel égale à la moitié de la différence totale, d'après la deuxième loi indiquée plus haut, les vitesses de chacun d'eux seront réduites à peu près dans le même rapport, c'est-à-dire réduites de moitié. Mais alors le rendement de chaque moteur sera abaissé.

Il est inutile d'ajouter que les mêmes faits se reproduiront lorsqu'au lieu de deux moteurs il s'en trouvera un plus grand nombre auquel on appliquera le même mode de groupement.

Régulation de la vitesse des voitures. — La régulation a pour but d'obtenir, pour un effort donné, une vitesse quelconque, compatible avec le moteur, ou réciproquement, pour une vitesse donnée, d'obtenir un effort quelconque, également compatible avec le moteur.

D'après ce que nous avons dit précédemment, la variation de vitesse des moteurs peut s'obtenir de trois façons différentes :

1° En modifiant le voltage d'alimentation ; la vitesse lui est sensiblement proportionnelle.

Ce changement de voltage peut être obtenu : soit en intercalant des rhéostats entre la ligne et le moteur, mode le plus ancien et le plus simple, mais qui entraîne une perte considérable d'énergie ;

Soit, lorsqu'il y a plusieurs moteurs sur une voiture ou par train, en accouplant tantôt en série, tantôt en parallèle ces moteurs; le voltage sera, dans ce cas, réduit dans la proportion du

nombre de moteurs en série. C'est le système qui porte le nom de « série parallèle » et qui, indiqué par Hopkinson et Reckenzaum, et appliqué, pour la première fois, en 1873, par la General Electric C°, est actuellement d'un emploi général;

Soit, enfin, en modifiant le voltage de la source d'alimentation; c'est la méthode assez souvent employée pour la traction par accumulateurs, en y joignant le commutateur série-parallèle.

2° En modifiant le flux inducteur auquel la vitesse est inversement proportionnelle; on peut modifier ce flux en faisant varier le nombre des spires inductrices ou en les shuntant par des résistances; ce dernier mode est le plus employé;

3° Soit, enfin, en modifiant le nombre des spires de l'induit auquel la vitesse est inversement proportionnelle.

Nous venons de dire que la méthode « série-parallèle » était la plus généralement employée lorsque, comme c'est le cas le plus fréquent, on a plusieurs moteurs par voiture ou par train. Dans ce cas, on complète la combinaison de mise en série ou en parallèle des moteurs, en ajoutant des rhéostats et en modifiant par des shunt le flux inducteur. On obtient ainsi une série de combinaisons permettant, en pratique, un nombre suffisant de variations d'efforts et de vitesses.

Mais comme, d'un autre côté, il serait compliqué d'obtenir les différentes combinaisons lorsque le nombre des moteurs dépasse quatre, on a l'habitude de grouper ces moteurs par deux, en les réglant séparément et simultanément au moyen d'un appareil agissant, soit par transmission mécanique, soit par servo-moteur (appareil Sprague ou Auvert) et mis à la disposition du mécanicien.

Ce système de régulation est le plus usuel sur les tramways, les lignes secondaires et sur les chemins de fer; il a l'avantage d'être économique, en rendant minimum la dépense d'énergie, surtout aux démarrages.

Nous indiquerons comme exemple de régulation une combinaison fréquemment employée pour les voitures de tramway à deux moteurs et qui donne une assez grande échelle de variation de vitesse :

1° Les deux moteurs sont en série avec une résistance variable pour le démarrage;

2° Les deux moteurs sont en série avec suppression de la résistance;

3° Les deux moteurs sont en parallèle avec résistance variable;

4° Les deux moteurs sont en parallèle sans résistance;

5° Les deux moteurs sont en parallèle, avec shuntage des inducteurs, ce qui donne la vitesse maximum.

Description du moteur de traction, conditions qu'il doit remplir. — Au début de la traction électrique, vers 1888, les seuls moteurs employés étaient les moteurs bipolaires, à deux bobines inductrices et à double réduction de vitesse. Ces moteurs, d'une puissance moyenne de 15 *ch*, marchaient à la vitesse de 1 200 tours par minute, et le rendement total ne dépassait pas 60 0/0.

Vers 1890, la Compagnie Wenstrom créa un moteur tétrapolaire à pôles conséquents, inducteurs entourant complètement l'induit, à armature munie d'encoches, à marche lente, qui, tout en étant plus léger, permettait de réduire à 400 ou 500 tours par minute la vitesse de l'induit, avec un rendement supérieur à celui des moteurs bipolaires.

Ces moteurs, d'une puissance variant entre 15 et 25 *ch*, permettaient d'attaquer l'essieu moteur avec un simple train d'engrenages. C'était un progrès très important et, en 1891, les compagnies Edison-Sprague, Thomson-Houston et Westinghouse se mirent à construire des moteurs où, sous une forme plus ou moins différente, on retrouve les perfectionnements apportés par la Compagnie Wenstrom.

De plus, la Compagnie Thomson-Houston enveloppait complètement le moteur et les engrenages, en mettant par conséquent les organes moteurs à l'abri de la poussière et de l'humidité. On avait ainsi, en 1891, le moteur « type cuirassé », à marche lente, à simple réduction qui, devenu d'un usage général, n'a reçu depuis cette époque, en Amérique aussi bien qu'en Europe, que des perfectionnements de détail (*fig. 6*).

Fig. 6. Moteur cuirassé à simple réduction de vitesse

Puisque le moteur à simple réduction, léger et d'un bon rendement, était ainsi créé, il était tout naturel de se demander s'il n'y aurait pas encore avantage à supprimer cette simple réduction de vitesse, en attaquant directement l'essieu par le moteur, et, par suite, à créer un moteur à vitesse encore plus lente. Plusieurs constructeurs américains et, entre autres, Short et Eickemeyer, étudièrent des moteurs sans réduction. En Angle-

terre, la maison Parker étudia, en 1891, d'après les mêmes idées, les moteurs aujourd'hui en service sur l'« Overhead » de Liverpool. Mais on reconnut bien vite, que ces moteurs ne pouvaient trouver avantageusement leur place que lorsque les vitesses de marche des voitures atteignaient au moins 70 *km* à l'heure; et que, dans tous les autres cas, le poids était trop considérable et que le moteur à simple réduction était le type le plus avantageux, se prêtant le mieux aux différentes combinaisons applicables aux tramways urbains et suburbains, ainsi qu'à la traction des trains métropolitains. On retrouve, du reste, dans les moteurs à action directe, aujourd'hui employés sur les locomotives électriques (Baltimore-Ohio, Central London) les dispositions étudiées par Short, Eickemeyer et primitivement en France par Raffard.

Ces essais successifs et les perfectionnements qui en ont résulté n'ont pas été sans importance, car ils ont permis aux constructeurs d'établir les conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les moteurs de traction électrique.

Ces conditions sont de deux sortes; elles sont mécaniques et électriques.

Les conditions *mécaniques* auxquelles un moteur doit satisfaire sont :

1° La compacité, c'est-à-dire qu'il doit avoir le plus petit volume possible, afin de pouvoir être installé sur le truck au-dessous de la caisse, tout en tenant compte de l'écartement des roues et de l'espace nécessaire à ménager entre eux et le niveau des rails ;

2° Les organes moteurs doivent être préservés de la boue et de l'humidité, préjudiciables au bon fonctionnement; l'huile de graissage ne doit pas non plus pénétrer dans l'intérieur du moteur, afin d'éviter les courts circuits; pour cela les paliers de l'arbre doivent se trouver en dehors de l'enveloppe;

3° Les organes moteurs doivent pouvoir être visités facilement, remplacés sans difficulté en cas de besoin et cela sans démontage complet de l'appareil. On doit avoir soin de ménager, dans ce but, des trappes dans le plancher de la voiture.

4° Les moteurs doivent être robustes, afin de résister à toutes les variations d'effort qui sont souvent considérables au moment du démarrage. Les induits doivent être bien clavetés sur l'arbre et les fils de l'induit doivent être entraînés au moyen de dentures ménagées à sa périphérie, afin d'éviter le décollage de ces fils.

Au point de vue *électrique* les conditions sont les suivantes :

Comme nous l'avons dit plus haut, le moteur doit être léger avec une faible vitesse de l'armature, deux choses peu conciliables. Il faut, pour cela, d'abord obtenir de chaque organe l'utilisation maximum et, par suite, employer les meilleurs matériaux, soit comme fer, soit comme cuivre. Dans ce but, on fabrique les induits avec de la tôle très douce et recuite et pour les inducteurs, on emploie l'acier doux qui, tout en étant très perméable, au point de vue électrique, peut être coulé facilement suivant les formes convenables et souvent compliquées de la carcasse. En second lieu, il faut donner à l'armature le diamètre le plus grand possible, étant donné l'emplacement dont on dispose. Enfin, il faut employer des moteurs multipolaires qui ont l'avantage de réduire le poids des inducteurs et de diminuer la réaction d'induit.

Dans le but de supprimer les étincelles au collecteur, cause importante de dégradation, il y a intérêt à employer un grand nombre de touches en disposant le bobinage en conséquence. Il y a lieu de faire usage également de balais au charbon qui, par suite de la résistance spécifique de celui-ci, réduisent l'intensité du courant au moment des courts-circuits qui se produisent lorsque le balai est en contact avec deux touches du collecteur.

Les enroulements des inducteurs doivent être soigneusement protégés et isolés.

Les moteurs ne doivent pas être seulement calculés pour le travail moyen à produire, mais ils doivent encore satisfaire aux différentes variations dues au profil, aux changements de vitesse et aux démarrages, et cela sans détérioration mécanique et sans échauffement nuisible. Pour cela les fils de l'induit doivent être calculés pour un courant moyen de 5 à 6 ampères par millimètre carré et de 12 ampères pendant les démarrages.

Le moteur doit supporter, pendant plusieurs heures, son travail moyen sans un échauffement supérieur à 50 ou 60° ; le travail doit pouvoir être augmenté de 50 0/0 sans que la température des enroulements dépasse 70 à 90°.

Ce sont ces différentes conditions qui conduisent à l'emploi de moteurs plus puissants que ceux qui seraient nécessaires, en ne tenant compte que du travail moyen. C'est pour cela que, pour les tramways, on se trouve dans la nécessité d'employer deux moteurs d'une puissance totale de 30 *ch* et très souvent de 50 *ch*, lorsque la ligne est accidentée.

Le rendement du moteur doit être satisfaisant, non seulement

lorsque le moteur produit sa puissance moyenne, mais encore lorsque cette puissance augmente ou diminue, par suite des efforts variables à produire.

En résumé, les moteurs électriques, tels qu'on les construit aujourd'hui, sont avec armature dentée, d'aussi grand diamètre que possible, avec inducteurs en acier doux (munis souvent de pièces polaires en tôles feuilletées) multipolaires, formant enveloppe extérieure facilement démontable; avec collecteur largement proportionné, soigneusement isolé et facile à remplacer; avec balais en charbon faciles à changer; avec engrenages simples ou à chevrons, entourés d'une enveloppe étanche et bien lubrifiée.

Les balais en charbon sont aujourd'hui d'un emploi général; ce sont assez souvent des charbons graphités, d'une très grande conductibilité, ne nécessitant que 5 à 10 mm^2 de surface frottante par ampère, au lieu 10 à 20 pour les charbons ordinaires.

Le rendement des moteurs de tramways, à simple réduction, engrenages compris, varie à pleine charge entre 0,75 et 0,80.

A demi-charge, on peut compter sur un rendement de 0,70 à 0,75 et, pendant le démarrage, où le moteur travaille dans de mauvaises conditions, ce chiffre se réduit à 0,50.

Sur une ligne où les rampes ne dépassent pas 3 0/0, avec arrêts fréquents, le rendement moyen, pour tout le parcours, n'atteint pas un chiffre supérieur à 0,60.

Le poids des moteurs de tramway, à simple réduction, de puissance moyenne, varie entre 800 et 1000 *kg*, ce qui, avec des roues de 0,80 *m* de diamètre et un coefficient de réduction de 5, correspond à un poids de 2 à 3 *kg* de moteur par kilogramme d'effort à la jante.

Comme exemple de moteurs de traction pour tramways nous citerons les types étudiés et appliqués par les trois plus importantes Compagnies de construction américaines :

1° Le type 800 de la General Electric C° *(fig. 5, Pl. 226)* ayant une force nominale de 25 *ch*, pesant 800 *kg* avec les engrenages et produisant, avec un coefficient de réduction de 4,78, un effort à la jante de 360 *kg* pour une roue de 0,84 *m* de diamètre;

2° Le type 12 A de la Compagnie Westinghouse, d'une puissance de 25 à 30 *ch* produisant, avec un coefficient de réduction de 4,86, un effort de traction à la jante de 4 à 500 *kg* pour des roues de 0,84 *m* de diamètre;

3° Le type 3 Walker donnant un effort de traction de 360 *kg*, à la vitesse de 16 *km*; c'est le type normal pour tramways.

Comme types européens, nous citerons :

1° Le type des Compagnies françaises et anglaises Thomson-Houston et de l'Union Elektricitäts-Gesellschaft, qui exploitent en Europe les brevets de la General Electric C°.

Le type pour tramways est semblable au type 800 que nous avons reproduit plus haut;

2° Le type Siemens et Halske, exploité en France par la Société Alsacienne. Le modèle de 25 *ch*, à la vitesse de 15 *km* à l'heure, avec roues de 0,80 *m* et réduction de 5,5 et une vitesse de 500 tours par minute, pèse 1 200 *kg* en produisant un effort à la jante de 495 *kg* (*fig*. 7);

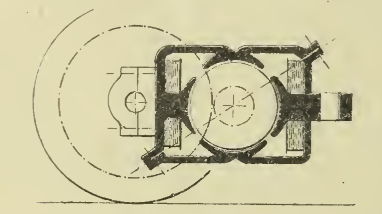


Fig. 7. Moteur Siemens et Haïske

Fig. 8. Moteur de la Cie de Fives-Lille

3° Le type de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft et de la Compagnie de Fives-Lille, dont la figure représente le type courant pour tramways. Avec une vitesse de 405 tours par minute et un courant de 25 ampères, le travail à la jante est de 13,5 *ch*. Le poids sans engrenages est de 900 *kg* (*fig*. 8);

4° Le type de la Compagnie de l'Industrie électrique et des usines du Creusot. Le moteur de tramways est d'une puissance de 25 *ch* à la vitesse de 400 tours, avec des roues de 0,75 *m* et un effort à la jante de 585 *kg*. Le coefficient de réduction est de 4,5;

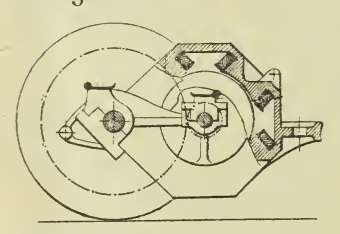


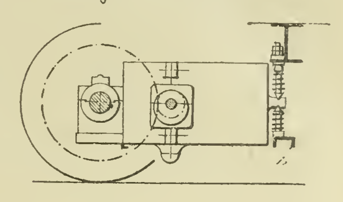
Fig. 9. Moteur d'Œrlikon

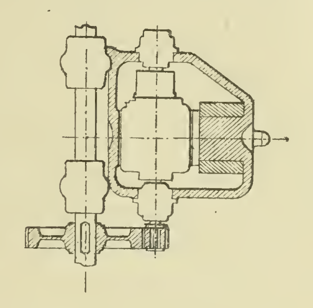
5° Le type des ateliers d'Œrlikon représenté par la (*fig*. 9.)

Nous citerons encore les moteurs étudiés par Hillairet-Huguet pour les tramways de Romainville (*fig*. 10), et ceux de la Société Industrielle de Moteurs électriques et à vapeur utilisés sur plusieurs lignes exploitées par la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine.

Adaptation des moteurs électriques aux voitures. — Au début de la traction électrique, comme on voulait se servir des voitures existantes, on plaçait les moteurs dans l'intérieur de la voiture en commandant les essieux par des chaînes ou des courroies. Outre l'encombrement, il en résultait des trépidations fort désagréables pour les voyageurs, et cette disposition fut vite abandonnée. Aujourd'hui, les voitures sont toujours munies d'un ou plusieurs trucks indépendants de la caisse, sur lesquels sont fixés les moteurs électriques.

Fig. 10. Moteur Hillairet-Huguet de la ligne de Paris-Romainville





La puissance des moteurs dépend du tracé et du mode d'exploitation. Les tramways à chevaux n'avaient qu'une vitesse faible, surtout sur les rampes, les démarrages ne se faisaient que lentement, et s'il ne s'était agi que de remplir les mêmes conditions de fonctionnement, un moteur de 5 ou 6 *ch* eût suffi largement. Mais des besoins nouveaux se sont fait sentir, le poids des voitures s'est accru, les vitesses ont été augmentées et les démarrages doivent se faire aussi rapidement que possible, tout en se renouvelant plus fréquemment. Le matériel actuel exige donc des moteurs très puissants.

Aujourd'hui, les voitures de tramways à deux essieux sont munies, au minimum, d'un moteur de 15 *ch*, et, au maximum, de deux moteurs de 25 *ch* chacun, soit 50 *ch*, suivant que ces voitures marchent seules ou doivent en remorquer d'autres.

Sur les lignes suburbaines ou interurbaines qui se rapprochent du chemin de fer d'intérêt local, la puissance totale des moteurs peut atteindre et dépasser 80 *ch*.

Enfin, lorsqu'il s'agit de chemins de fer, la puissance de chaque moteur atteint 50, 100 ou 200 *ch*.

Lorsque la puissance nécessaire ne dépasse pas 30 *ch* et que les rampes n'excèdent pas, et cela sur des courtes distances, 3 0/0, un seul moteur suffit pour l'adhérence. On fait ainsi une économie, et sur le prix d'acquisition, et sur les frais d'entretien, car, à puissance égale, deux moteurs sont plus lourds et plus coûteux qu'un seul. Mais, d'un autre côté, en cas de démarrages

rapides et avec des rails gras, la mise en vitesse est plus assurée avec deux moteurs.

Aussi, tout en conservant l'économie du système, et pour assurer l'adhérence des deux essieux, a-t-on cherché à commander ceux-ci par un moteur unique. Cette disposition a été adoptée à Budapest et, plus récemment, en Allemagne, à Bâle, à Mulhouse, avec un trafic peu intensif, il est vrai.

Lorsque la puissance dépasse 30 *ch*, deux moteurs de 15 à 25 *ch* chacun sont nécessaires, surtout lorsque les rampes s'accentuent, que les démarrages doivent être rapides et qu'on doit faire le remorquage d'une ou plusieurs voitures.

Dans le cas de lignes de banlieue, suburbaines ou interurbaines, où les voitures plus lourdes sont le plus souvent supportées par des bogies et où la remorque est d'un usage général, des moteurs plus puissants sont nécessaires et, suivant le cas, on peut employer, par automotrice, un ou deux moteurs par bogie, c'est-à-dire deux ou quatre moteurs par voiture. C'est, toutefois, la première disposition qui est la plus souvent employée.

La même disposition est adoptée sur les lignes de chemin de fer où la traction se fait par automotrices; mais alors, comme nous l'avons dit plus haut, les moteurs sont encore plus puissants et peuvent atteindre 200 *ch* par unité.

Pour que le rendement d'un moteur électrique soit bon et que son poids reste dans les limites convenables, la vitesse de son armature doit être aussi grande que possible et compatible, toutefois, avec les efforts résultant de la force centrifuge. Généralement, pour les moteurs de tramways, cette vitesse à la périphérie de l'armature varie entre 15 et 25 *m* par seconde, et le nombre de tours est de 660 à 1 000 par minute. D'un autre côté, la vitesse de rotation des roues de la voiture est fixée par la vitesse à atteindre et, par suite, inférieure à celle de l'armature. Il est donc indispensable, au point de vue économique, d'établir une transmission entre le moteur et l'essieu de l'automotrice. Cette transmission doit être calculée d'après la vitesse de marche et dépendra donc du mode d'exploitation.

En France on admet généralement une vitesse de 12 *km* à l'heure dans l'intérieur des villes, de 16 *km* dans les faubourgs et de 20 *km* dans la banlieue. En Belgique et en Allemagne des vitesses supérieures à celles-ci sont autorisées : à Bruxelles, la vitesse est de 15 *km* en ville et 21 *km* hors la ville; à Dresde, 18 *km* à l'intérieur et 30 *km* hors la ville.

En Amérique, la vitesse de 20 *km* à l'heure est bien souvent atteinte dans l'intérieur des plus grandes villes; cette vitesse est certainement exagérée et même dangereuse. Sur les tramways suburbains on marche à 25 ou 30 *km* à l'heure et souvent plus.

Le diamètre des roues motrices des automotrices circulant à l'intérieur des villes ne dépasse pas généralement 0,80 *m*, afin de ne pas surélever le plancher de la voiture, en diminuant ainsi le nombre des marches nécessaires pour y accéder. Pour les lignes suburbaines, où les arrêts sont moins fréquents, on peut augmenter le diamètre des roues en le portant à 0,90 *m* et 1 *m*. Il en est de même des voitures circulant sur des métropolitains.

Réduction de vitesse des moteurs. — Divers modes de transmission avec réduction de vitesse ont été étudiés ; nous les résumerons. Mais, tout d'abord, il ne faut pas perdre de vue qu'une bonne transmission doit satisfaire à diverses conditions : elle doit être simple, solide, légère et peu encombrante ; elle doit, de plus, avoir une marche silencieuse, être à l'abri de la poussière, donner peu de vibrations, avoir un bon rendement et ne pas exiger de grands frais d'entretien. Toutes ces conditions sont bien difficiles à réaliser ; aussi, parmi les nombreux systèmes essayés, en est-il resté peu d'une application réellement pratique.

Les rouleaux de friction n'ont jamais donné de bons résultats, par suite de la pression considérable qu'il faut obtenir entre les deux rouleaux, pression qui ne peut être obtenue que par l'augmentation du poids des moteurs.

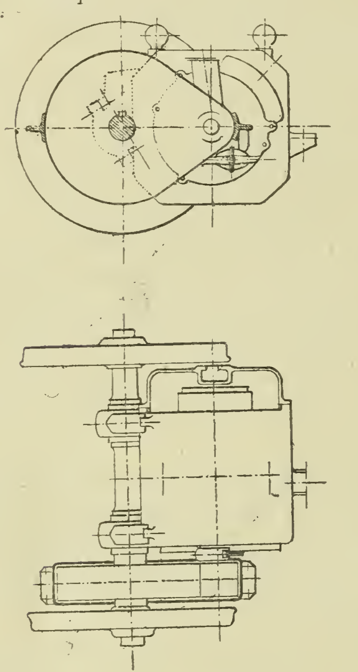
Les engrenages coniques ont été essayés à plusieurs reprises en Amérique, surtout par Sperry; cette disposition avait principalement pour but de permettre, pour de petites puissances, l'emploi d'un seul moteur placé parallèlement à l'axe de la voiture et commandant les deux essieux.

La vis sans fin, fixée sur l'axe des moteurs et commandant directement soit un seul, soit deux essieux, au moyen d'engrenages, semblait, dès le début de la traction électrique, le moyen le plus simple de transmission. On pouvait ainsi obtenir, sans difficulté, le coefficient de réduction de vitesse nécessaire et cela par un mouvement doux et régulier; mais le rendement laissant à désirer, il fut fait peu d'applications de ce système de transmission, qui a été, cependant, adopté pour les voitures de tramways de Blackpool, de Marseille et de Gênes.

Le mode de transmission employé presque partout aujourd'hui est le système par engrenages cylindriques. On peut faire usage, soit de la double réduction, avec deux trains d'engrenages et arbre intermédiaire, soit de la simple réduction, avec un simple train d'engrenages.

La première disposition, employée pour la première fois, semble-t-il, sur le tramway de Francfort-Offenbach, a été en usage tant qu'on n'a pas su fabriquer des moteurs électriques légers avec vitesse relativement faible, c'est-à-dire 500 à 800 tours. Elle avait l'inconvénient de diminuer le rendement, par suite du frottement des deux trains d'engrenages : de plus, elle occupait trop de place.

Fig. 11 Moteur avec engrenages cylindriques et simple réduction de vitesse



Mais les moteurs électriques se sont perfectionnés et la transmission par simple réduction s'est généralisée vers 1891 ; c'est aujourd'hui la seule employée pour les services urbains et suburbains. La transmission par double réduction n'est plus conservée que pour les lignes à traction électrique sur fortes rampes où les vitesses de marche sont trop faibles pour permettre la simple réduction par engrenages cylindriques.

Avec cette disposition (*fig. 11*) le pignon est calé sur l'arbre du moteur, en dehors du palier qui le supporte, et ce pignon commande une roue dentée, clavetée sur l'essieu; celui-ci, de son côté, est relié au moyen de paliers, à la carcasse du moteur, de manière à rendre invariable la distance entre les deux axes. Le train d'engrenages est enfermé dans une boîte close, remplie d'huile, de manière à bien imprégner les engrenages en les mettant à l'abri de la poussière. Les roues d'engrenages se font en acier coulé et les dents sont généralement taillées à la fraise.

On peut obtenir avec cette disposition d'engrenages à simple réduction, un rendement de 93 à 95 0/0 qui, joint au rendement en pleine charge de l'appareil moteur de 85 à 88 0/0, donne un rendement total de 80 à 82 0/0.

Le coefficient de réduction le plus généralement adopté varie entre 1/4 et 1/5.

On remplace assez souvent en Europe les engrenages cylindriques par des engrenages à chevrons, qui ont l'avantage d'être toujours en prise.

Suspension des moteurs. — Une question intéressante et très importante est celle de la *suspension du moteur.*

Comme on l'a vu, les moteurs électriques sont aujourd'hui toujours installés sur un truck indépendant de la caisse qui, elle, de son côté, est supportée par l'intermédiaire d'une seconde suspension.

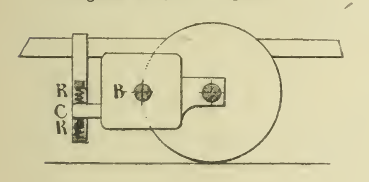
Généralement, les moteurs reposent, d'un côté, sur l'essieu, au moyen de paliers, et de l'autre côté sur le truck.

Le moteur doit charger le moins possible l'essieu et doit être relié au truck au moyen de ressorts.

Diverses dispositions ont été étudiées dans ce but. Nous citerons les plus répandues, appliquées aux moteurs à simple réduction.

La première disposition, imaginée par Sprague, et qui porte le nom de *suspension par le nez*, consiste à supporter l'arrière du moteur B au moyen d'un bec ou nez C, venu de fonte avec lui, qui s'appuie, par l'intermédiaire de ressorts RR, sur une traverse reliée au truck. On obtient ainsi une liaison élastique entre le moteur et le truck, mais la moitié du poids du moteur repose toujours sur l'essieu *(fig. 12)*.

Fig. 12. Suspension par le nez



La General Electric C° a étudié une seconde disposition où le moteur repose par son centre de gravité sur deux barres latérales, reposant à leur extrémité, au moyen d'articulations, sur le truck. Avec cette disposition il y a liaison élastique et l'essieu ne porte plus rien *(fig. 13)*.

La Compagnie Westinghouse emploie une suspension à peu près semblable, mais les barres latérales sont situées au-dessus du moteur *(fig. 14)*.

Nous citerons enfin la disposition Walker (1), où la suspension par le nez est encore conservée, mais où le poids du moteur est

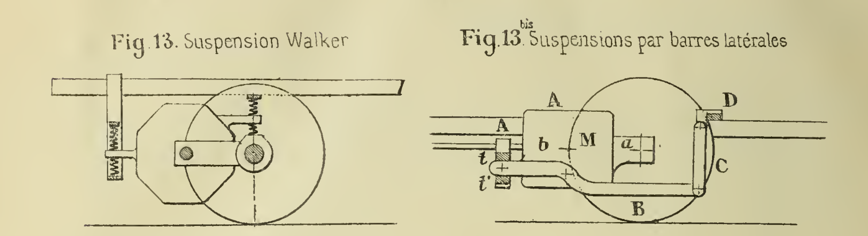
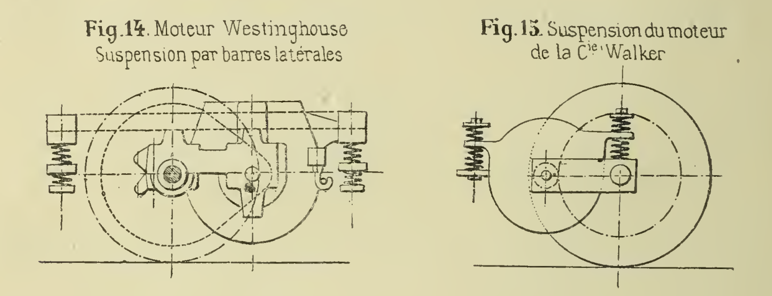


Fig. 13. Suspension Walker — Fig. 13 bis. Suspensions par barres latérales

reporté sur l'essieu, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un ressort *(fig. 15)*.


Fig. 14. Moteur Westinghouse Suspension par barres latérales — Fig. 15. Suspension du moteur de la Cie Walker

Nous devons faire une remarque importante au sujet de la suspension des moteurs. Les points de suspension ne sont pas seulement soumis au poids statique du moteur, mais ils sont encore soumis aux réactions électro-magnétiques entre l'induit et l'inducteur qui, en produisant un couple, déchargent un des points de suspension en surchargeant l'autre. Ces efforts sont souvent importants, surtout aux démarrages, et il y a lieu d'en tenir compte.

Nous avons dit au début que les moteurs à réduction de vitesse sont les seuls applicables pour une exploitation de tramways ou de lignes urbaines ou suburbaines ou même métropolitaines, sauf certains cas exceptionnels. En effet, pour obtenir un bon rendement et un poids de moteur convenable, le calcul indique que ce n'est que lorsque la vitesse de marche dépasse 70 *km* à l'heure qu'il y a intérêt à employer les moteurs sans réduction de vitesse,

(1) Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, février 1897. Application de système Walker aux tramways électriques (Ziffer).

attaquant directement l'essieu. Ce ne serait donc que pour des trains de grande vitesse, à arrêts peu fréquents, et sur les grands réseaux, que ces moteurs pourraient trouver leur application. Au-dessous de ces vitesses, la transmission avec réduction est généralement préférable. C'est un principe admis par les Ingénieurs américains, même avec des coefficients de réduction très faibles. Ils trouvent que, si la transmission directe fait disparaître les engrenages, les moteurs y sont d'une installation plus délicate, les réparations plus difficiles et les échauffements plus grands.

Les moteurs à transmission directe peuvent être installés de deux façons différentes.

On peut *(fig. 16)* caler l'induit sur l'essieu, en faisant reposer l'inducteur sur des paliers qui l'embrassent et, afin d'éviter la surcharge de cet essieu par le moteur, en reportant le poids de cet inducteur sur deux barres latérales AA, fixées au truck, et auxquelles il est relié par des ressorts *r*, *r*.

Fig. 16. Suspension des moteurs sans réduction à arbre plein

Avec ces dispositions, les surcharges sur les points d'appui, dues au couple moteur, deviennent considérables, surtout aux démarrages; de plus, les masses solidaires de l'essieu et provenant de l'induit sont assez importantes pour produire de fortes réactions sur la voie au passage des joints. C'est cette disposition qui a été adoptée pour les premières automotrices de l' « Overhead » de Liverpool.

La *suspension par arbre creux*, imaginée vers 1883 par Raffard et qui est aujourd'hui généralement employée, est préférable. L'armature est fixée sur un arbre creux concentrique à l'essieu, relié à la roue par des accouplements élastiques qui l'entraînent. Sur cet arbre creux repose également, au moyen de paliers, l'inducteur qui est relié d'une manière fixe au truck de la voiture ou de la locomotive.

Le jeu nécessaire aux ressorts de suspension du truck se trouve dans ce cas, ménagé dans le vide existant entre l'essieu et l'arbre creux. Avec cette disposition l'essieu ne supporte donc aucune surcharge des moteurs. On trouvera cette disposition appliquée aux locomotives Heilmann, aux locomotives du « Central London » ainsi qu'à celles du « Baltimore-Ohio ».

Trucks moteurs. — Suspension. — Roues.

Dans le but d'éviter les trépidations qui se transmettent à la caisse de la voiture par l'intermédiaire des engrenages et qui sont très désagréables pour les voyageurs, il est de règle, comme on sait, de ne plus suspendre aujourd'hui les moteurs à la caisse et de les fixer directement à un châssis indépendant de celle-ci ou truck moteur, qui repose au moyen de ressorts sur les essieux; on obtient ainsi une double suspension donnant un roulement très doux.

Les moteurs sont eux-mêmes fixés au truck par l'intermédiaire de ressorts, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Cette disposition est aujourd'hui générale, aussi bien en Amérique qu'en Europe.

Un truck doit être très solide, afin de résister aux réactions de la voie et des moteurs; il doit aussi être indéformable, et facilement accessible pour la visite des moteurs. Les ressorts de suspension doivent être disposés de manière à limiter les mouvements de tangage et de roulis de la voiture, les premiers surtout étant très préjudiciables, car ils ont pour effet de modifier la répartition des poids sur les essieux moteurs et d'être souvent la cause de patinage.

Les trucks peuvent être à deux, trois ou quatre essieux, avec bogies dans ce dernier cas; le type à deux essieux est le plus simple et le plus répandu.

Lorsque les voitures doivent circuler dans des courbes ne dépassant pas 20 *m* de rayon, l'empattement des essieux ne doit pas être supérieur à 2 *m*, et comme d'un autre côté la caisse atteint 6 à 7 *m* de longueur, il en résulte à l'avant et à l'arrière un porte-à-faux considérable.

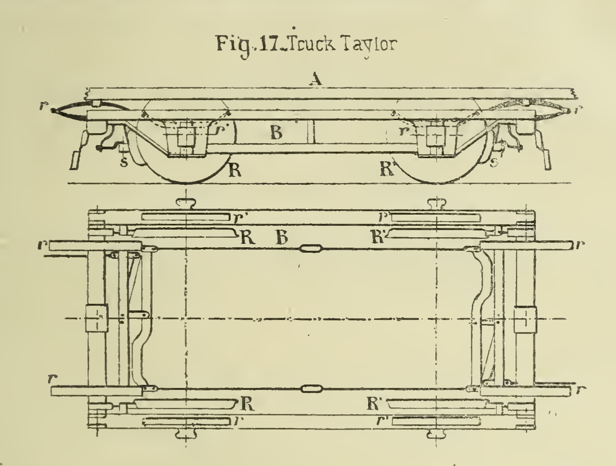
Pour remédier à cet inconvénient grave, on peut prolonger les longerons du châssis au delà des plaques de garde et placer aux extrémités de ces longerons des ressorts r, r' qui arrêtent les mouvements de tangage; ce dispositif se répand beaucoup *(fig. 17)*.

Chez nous, quoique le principe de l'indépendance du truck et de la caisse et de la double suspension ne soit pas partout admis, on trouve, cependant, dans ces dernières années, de nombreux exemples de cette disposition : Lyon-Oullins, Le Havre, Rouen, Tourcoing-Roubaix, voitures construites par la Société Franco-

Belge, voitures à accumulateurs de la Madeleine-Neuilly-Courbevoie, voitures de Fontainebleu, etc.

Une longueur de 5,50 *m* de caisse et de 8 à 9 *m* entre tampons est le maximum à admettre pour une voiture à deux essieux dont l'empattement ne doit pas dépasser 2 *m*.

Fig. 17. Truck Taylor



Lorsqu'il y a lieu de dépasser ces dimensions, et, par suite, d'augmenter l'empattement, il faut recourir à une disposition permettant la convergence des essieux.

On peut avoir soit un truck à deux essieux convergents, comme le truck Averly, soit un truck à deux essieux, dérivé du type Clemenson, ou, pour les voitures dont la longueur atteint 10 ou 12 *m*, deux bogies à deux essieux. Ce dernier type facilite évidemment le passage dans les courbes, mais il a l'inconvénient d'augmenter le poids mort de la voiture.

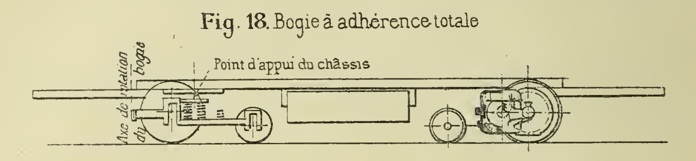
Le bogie employé, dans ce cas, se rapproche des types en usage pour les voitures de chemins de fer, sauf les modifications qu'on a dû lui faire subir pour loger le moteur électrique.

Comme généralement les voitures de tramways ne sont munies que de deux moteurs au plus et, dans la plupart des cas, un par bogie, il en résulte que le poids total adhérent de la voiture est mal utilisé, ce qui peut être un inconvénient lorsqu'il s'agit de lignes à fortes rampes. Aussi, dans le but d'augmenter l'adhérence, emploie-t-on fréquemment le bogie à adhérence maximum dont nous voyons un exemple dans Paris, sur les voitures d'Aubervilliers et de Pantin *(fig. 18)*. Dans ce type de bogie, le pivot qui supporte le poids de la voiture est excentré de manière à reporter la plus grande partie de la charge sur l'essieu moteur, ce qui per-

met d'utiliser environ 80 à 85 0/0 du poids total de la voiture. Les roues motrices ont alors le diamètre ordinaire de 0,75 à 0,80 *m*, tandis que les deux autres roues du bogie, qui ne servent plus que de directrices, peuvent avoir un diamètre plus petit, de 0,30 à 0,35 *m*, leur permettant de jouer librement sous les brancards de la caisse, sans qu'on soit obligé de surélever ceux-ci.

La suspension du truck sur les essieux et de la caisse sur le truck se fait aujourd'hui, d'une manière à peu près générale, par

Fig. 18. Bogie à adhérence totale



la combinaison de ressorts à lame et de ressorts en spirale. Les essieux se font de plus en plus en acier doux et, comme ils ont à résister à des efforts souvent considérables, provenant soit des réactions de la voie, soit des moteurs, au moment des démarrages, on a été amené à leur donner des dimensions se rapprochant de celles des essieux des voitures de chemins de fer. Le diamètre de l'essieu varie entre 0,080 et 0,100 *m*, et le diamètre de la fusée entre 0,075 et 0,090 *m* pour une voiture pesant 9 à 10 *t*.

Les *boîtes à graisse*, tout en se rapprochant de celles employées sur les voitures de chemins de fer, offrent toutefois de grandes variétés. Le lubrifiant est toujours aujourd'hui l'huile minérale.

Les surfaces des fusées sont calculées de manière que la pression ne dépasse pas 25 à 30 *kg* par centimètre carré.

Les roues ont, jusqu'en ces derniers temps, toujours été faites, aux États-Unis, en fonte trempée, sans bandage rapporté, en suivant, du reste, ce qui se fait depuis longtemps dans ce pays pour le matériel de chemins de fer. Lorsque ces roues sont de bonne qualité, elles fournissent un excellent service, mais elles demandent l'emploi d'un métal de premier choix et surtout de grands soins de fabrication. Leur durée est relativement courte. Aussi, depuis quelque temps, a-t-on tendance, en Amérique, à abandonner ce type de roues pour revenir à celui généralement employé en Europe, c'est-à-dire aux roues à bandage rapporté en acier, résistant à 65 ou 75 *kg* par millimètre carré avec allongement de 15 à 18 0/0.

II. — Caisses.

Les caisses offrent de grandes variétés. On rencontre des caisses fermées à banquettes longitudinales ou transversales, des caisses ouvertes à bancs transversaux pour l'été, des caisses à plates-formes fermées et, enfin, des caisses partie ouvertes, partie fermées, en usage surtout en Californie.

Ce qui caractérise principalement les voitures américaines, c'est la suppression complète de l'impériale, non pas, comme on pourrait le croire, à cause du climat, mais parce que l'impériale retarde l'entrée et la sortie des voyageurs et est, par suite, la cause de perte de temps diminuant la rapidité du service. Il serait à désirer comme nous l'avons dit au début que cette coutume pénètre chez nous.

Les voitures fermées, à deux essieux, qui sont le plus généralement employées aux États-Unis, comme répondant le mieux à un trafic ordinaire et auxquelles, du reste, on peut ajouter des voitures de remorque, en cas d'affluence, ont une longueur de caisse variant entre 5,50 *m* et 6,10 *m*, et une longueur totale hors tampons de 7,95 *m* à 8,50 *m* ; elles contiennent 24 à 28 places assises, mais, comme en Amérique, le nombre de places n'est limité que par la surface du plancher, le nombre total des voyageurs transportés atteint parfois 60 à 80. Le poids de ces caisses est d'environ 2 000 à 2 600 *kg*. Nous devons dire, toutefois, que, depuis quelque temps, par suite d'accidents résultant d'encombrements, on tend à limiter le nombre maximum des voyageurs à admettre dans les voitures. A Brooklyn, ce nombre ne doit pas dépasser 50 0/0 des places assises.

Les voitures à bogie, qui sont employées sur certains réseaux à trafic excessivement intense, ont une longueur de caisse de 7 à 8,50 *m* et une longueur totale hors tampons de 9,50 à 11 *m*. Elles contiennent 30 à 45 places assises et un total de 90 à 120 personnes.

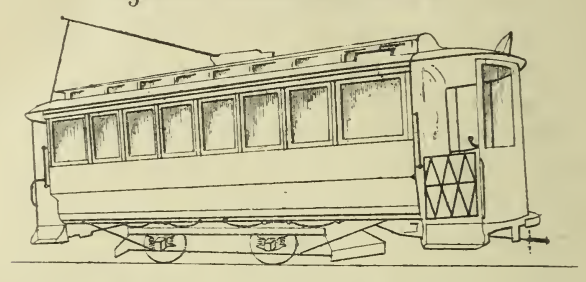
Les voitures ouvertes, de 7 à 12 banquettes transversales à 5 places, ont une longueur de 7 à 9 *m* pour les voitures à deux essieux et de 10 à 12 *m* pour les voitures à bogie.

Les plates-formes ont une longueur moyenne de 1,10 *m* ; quant à la largeur de la caisse, elle varie entre 2,20 et 2,30 *m*, et la hauteur intérieure atteint 2,30 à 2,40 *m* au milieu de la voiture.

On s'attache à ce que, même pour les voitures à bogie, où la

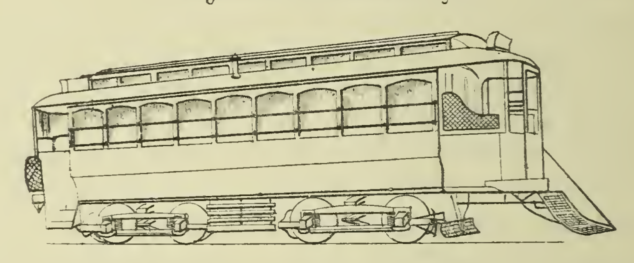
hauteur de la caisse doit être suffisante pour permettre le pivotement des trucks, le niveau du plancher ne dépasse pas 0,70 *m* au-dessus du niveau des rails.

Fig. 19. Voiture convertible (Tenue d'hiver)



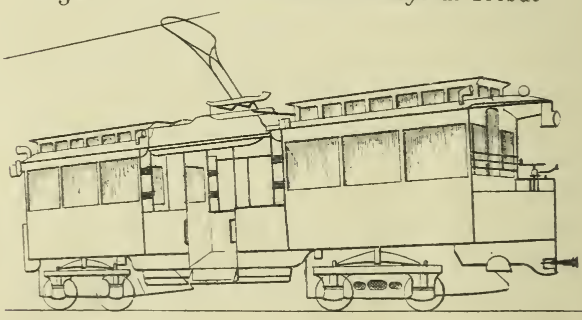
Nous donnons, ci-joint, le dessin de certains types spéciaux assez répandus. La figure 19 représente un type de voiture norma-

Fig. 20. Voiture vestibulée à bogies



lement fermée, mais qui peut être ouverte en été. La figure 20 montre une voiture vestibulée à bogies. La figure 21 indique la

Fig. 21. Nouvelles voitures des Tramways de Dresde



disposition à entrée centrale du nouveau type de voitures adopté sur les tramways de Dresde.

Le matériel électrique européen dérive plus ou moins du matériel américain. Les voitures symétriques, à caisse fermée et plate-forme ouverte, sont généralement de dimensions moindres que les voitures américaines. La caisse n'a guère que 4 à 5 *m* de longueur avec longueur totale de 7 à 8 *m*; le nombre des places assises varie de 16 à 20, avec de 5 à 15 voyageurs sur chacune des plates-formes, dont la longueur est généralement de 1 à 1,50 *m*. Le poids, sans moteurs ni appareils électriques, est de 4,5 à 5,5 *t*.

La largeur extérieure des caisses est de 2 à 2,10 *m*, et la hauteur intérieure au centre, qu'on tend, du reste, à augmenter, n'est souvent que de 2 *m*.

Le plancher de nos voitures est plus élevé au-dessus des rails que celui des voitures américaines, ce qui exige deux marches d'accès aux plates-formes.

Sauf sur quelques tramways austro-hongrois, les plates-formes vestibulées ne sont pas en usage et, à l'exception de quelques exemples récents, on ne rencontre que très rarement, sur les tramways européens, les automotrices à bogies ou ouvertes pour le service d'été.

Mais, par contre, les voitures à impériales sont, malheureusement selon nous, très fréquentes.

Quant à la construction de la caisse, elle diffère notablement de celle en usage à l'étranger; l'emploi du fer y est fréquent. Les brancards de la caisse en métal se prolongent jusqu'à l'extrémité de la plate-forme et rendent celle-ci dépendante de la caisse, ce qui est certainement préférable au mode américain ; les montants sont aussi souvent en fer et les panneautages extérieurs sont en tôle mince.

Fig. 22. Voiture Schuckert

Nous donnons, ci-après (*fig.* 22), le dessin de la voiture allemande de la Société Schuckert, analogue à celle en service sur les tramways de Toulon et on trouvera planche 227, figure 7, la vue photographique des voitures

de la ligne Bastille-Charenton, où les plates-formes peuvent être disposées pour permettre l'isolement du mécanicien des voyageurs.

Toutes ces voitures sont sans impériale; comme voitures à impériale, on trouve les automotrices de Romainville, type assez lourd, comme, du reste, toutes les automotrices parisiennes; les voitures de Dublin, Coventry, Bristol, du South-Staffordshire, en Angleterre. Dans ces dernières voitures, une chose intéressante est la disposition des plates-formes avec entrée et sortie séparées pour les voyageurs d'intérieur et d'impériale.

Le poids d'une automotrice du type américain, sans impériale, de 30 places, est, à vide, de 5 à 6 *t*; pour une automotrice de 40 places, ce poids varie de 5,5 à 6,5 *t*, suivant l'équipement à un ou deux moteurs. Pour une capacité de 50 places, on peut compter sur un poids de 7 à 8 *t*, ce qui, en pleine charge, donne un poids total de 10 à 11 *t*. Ce chiffre est inférieur au poids de 13 *t* admis à Paris pour les voitures électriques; ceci indique l'intérêt qu'il y a de chercher, par une étude plus attentive, à réduire le poids mort des voitures actuellement employées à Paris. Cette réduction de poids mort est d'autant plus désirable que ce poids est un facteur très important dans le travail du démarrage.

Quant au *poids mort* par place occupée, il ne peut guère descendre au-dessous de 130 à 140 *kg* et s'élève souvent à 200 *kg*; il est, en moyenne, de 150 à 160 *kg*, moteurs et appareils compris.

Les automotrices examinées précédemment sont celles où la traction électrique se fait par trolley; celles à accumulateurs ne diffèrent des premières que par certaines dispositions nécessitées par l'emplacement des batteries; le truck et la caisse doivent être renforcés pour tenir compte du poids supplémentaire des accumulateurs.

Les éléments peuvent être placés sous les banquettes, comme aux tramways de Saint-Denis-Opéra (anciennes voitures), de Courbevoie-Levallois-Madeleine, soit dans une caisse amovible, placée ou entre les essieux ou aux deux extrémités de la voiture, comme aux nouvelles voitures des tramways de Saint-Denis-Opéra-Madeleine, d'Aubervilliers et de Gennevilliers *(Pl. 227, fig. 5 et 6)*.

Les voitures Courbevoie-Madeleine, avec accumulateurs chargés à poste fixe, pèsent, sans les accumulateurs et à vide, 150 *kg* par place offerte et, avec les accumulateurs, 215 *kg*.

III. — Développement de la traction électrique.

La traction électrique par trolley n'est plus aujourd'hui limitée au service des tramways urbains dont nous venons de nous occuper ; son champ s'est étendu et, depuis ces dernières années on en trouve des applications, soit pour le service des lignes secondaires d'intérêt local soit pour le service des lignes métropolitaines.

Aux États-Unis, la traction électrique sur les lignes secondaires a pris depuis deux ou trois ans un développement important. Ces lignes, simple prolongement des réseaux urbains et établies soit sur les accotements des routes, soit sur une plateforme indépendante, servent à relier entre elles les agglomérations industrielles ou agricoles. Construites sous le nom de réseau « interurbain », elles ont une longueur atteignant parfois 50 à 60 *km*. Souvent parallèles aux lignes de chemins de fer existantes, elles leur font une sérieuse concurrence, obligeant celles-ci, pour éviter une diminution considérable de recette, à appliquer elles-mêmes la traction électrique. C'est ainsi qu'il s'est établi, autour de Cleveland et de Buffalo, des réseaux interurbains d'une importance considérable.

Des exploitations de ce genre sont encore rares chez nous, mais les essais récents montrent qu'elles ont devant elles un avenir à escompter. Nous pouvons citer, dans cet ordre d'idées, le réseau des *tramways de pénétration* dont on vient de décider l'établissement, qui se compose de vingt-deux lignes reliant le centre de Paris avec différentes agglomérations suburbaines de la capitale. Le principe de ces lignes est : une longueur relativement faible, une vitesse modérée et un trafic exclusif de voyageurs et quelquefois de messageries. C'est donc une extension du service des tramways. Comme pour ces derniers, il faut un matériel léger, et l'exploitation doit se faire avec des trains composés d'une automotrice seule ou remorquant une ou deux voitures, soit des trains de 30 à 40 *t*.

Cette longue parenthèse, cependant indispensable, étant fermée, nous allons étudier les divers tramways *accumulateurs d'énergie*.

A. — Tramways à accumulateurs électriques.

On sait que l'énergie électrique peut être emmagasinée dans des appareils spéciaux appelés « accumulateurs », qui fournis-

sent cette énergie aux électromoteurs en cours de route, et qui, après épuisement de cette énergie, sont approvisionnés à nouveau, c'est-à-dire rechargés.

Cette énergie peut être renouvelée :

1° Soit en ramenant la voiture à l'usine centrale où la batterie est remplacée par une autre, chargée à l'avance;

2° Soit en la rechargeant directement en des points fixes, sans manutentionner la batterie.

3° Enfin, un troisième système consiste à recharger en cours de route en utilisant la prise de courant par trolley; ce troisième mode de rechargement rentre dans notre quatrième classe.

Types d'accumulateurs.

Les deux types d'accumulateurs les plus employés actuellement sur les tramways de Paris sont : les accumulateurs de la Société pour le travail électrique des métaux et ceux de la Société Tudor.

I. — Le type d'accumulateur le plus récent de la Société pour le travail électrique des métaux est formé d'éléments à oxydes rapportés. Les plaques positives sont en plomb antimonieux et, dans le but d'empêcher la matière active de tomber au fond du bac, sous l'influence des charges et décharges successives et des trépidations, ces plaques sont munies d'augets ouverts par le haut. Si cette disposition n'empêche pas complètement la chute du peroxyde, du moins elle la retarde et facilite le réempâtage.

La matière active qui remplit ces augets est du peroxyde de plomb mélangé avec de l'acide sulfurique.

Les plaques négatives ont la disposition ordinaire et la matière active est obtenue par la réduction du plomb en plomb spongieux.

II. — L'accumulateur Tudor est formé de plaques positives du type Planté. Les plaques sont formées d'une âme en plomb pur; de petites saillies de section triangulaire, espacées de 1,5 *mm*, sont juxtaposées de chaque côté de l'âme, ce qui permet, pour un poids donné de plaques, d'obtenir une surface active considérable. Cette surface est de 20 à 25 dm^2 par kilogramme de plaque, tandis qu'elle n'est que de 3 à 4 dm^2 pour les autres types. La formation n'atteignant qu'une faible profondeur, la durée des plaques est prolongée ; de plus, la partie du plomb qui compose l'âme, et qui n'a pas été transformée, conserve une très grande conductibilité et facilite le transport du courant.

Grâce à cette disposition, les plaques Tudor peuvent supporter

des régimes de courant de charge et de décharge élevés sans détérioration. Elles ont permis de créer l'accumulateur à charge rapide.

Avec l'accumulateur Tudor, on peut obtenir une intensité de courant de charge de 10 à 12 ampères par kilogramme d'électrode, tout en maintenant une intensité de courant par décimètre carré de $\frac{10}{20} = 0,5$ ampère seulement.

Les plaques négatives sont du genre Faure, avec de la litharge comme matière active.

Charge d'une batterie. — On peut charger une batterie, soit en mettant les éléments *en quantité*, soit en les mettant *en série*. C'est généralement cette dernière méthode qui est employée. La force électromotrice de chaque élément, à fin de charge, étant de 2,5 volts, il en résultera que la force électromotrice totale de la dynamo génératrice devra être égale à 2,5 volts, multipliée par le nombre d'éléments. Mais, comme cette force électromotrice doit toujours être supérieure à la force contre-électromotrice de la batterie, il est d'usage d'augmenter de 10 0/0 environ cette force électromotrice réelle de la batterie.

La mise en charge d'une batterie peut s'opérer de trois manières différentes :

1° A potentiel constant ;
2° A intensité de courant constante ;
3° A puissance constante.

Nous ne parlerons que de la première, qui est la plus simple et, en même temps, la seule employée, croyons-nous, pour la traction électrique.

Avec cette méthode de charge à *potentiel constant*, l'intensité du courant n'est pas constante pendant l'opération ; elle est maximum au début, ce qui est sans inconvénient, puisqu'à ce moment la matière active est déchargée, et minimum à la fin de charge, ce qui est également avantageux, puisque la matière active est presque entièrement formée.

D'après des expériences faites à la Compagnie du Nord, avec une durée de charge de huit heures, au bout d'une heure, l'énergie emmagasinée était de 50 0/0 de l'énergie totale, au bout de deux heures de 75 0/0, et au bout de quatre heures de 86 0/0.

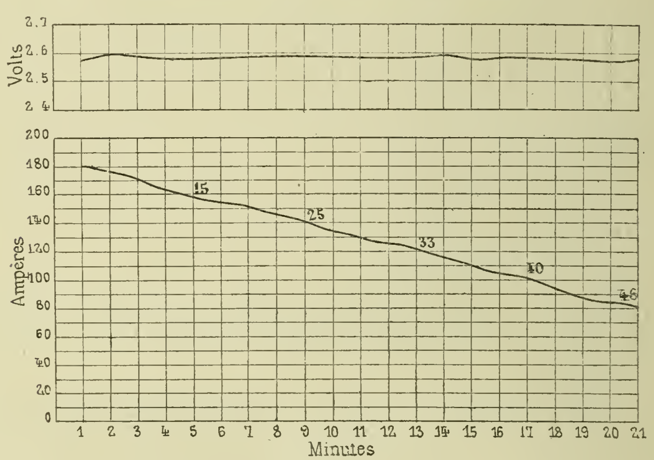
On voit l'avantage de cette méthode qui, dès le début de la charge, emmagasine dans la batterie une proportion considérable

de la capacité totale. Cette proportion sera, du reste, d'autant plus grande que l'intensité du courant au début sera elle-même plus grande.

Dans le cas de certains accumulateurs à composition hétérogène, il y a lieu de limiter cette intensité de courant, afin d'éviter la désagrégation ; ainsi, dans le cas dont nous venons de parler, on a limité la charge au début à 5,5 ampères par kilogramme de plaque, en scindant l'opération en deux parties et en chargeant sous divers potentiels. Pendant trois heures, la tension a été de 260 volts, soit 2,4 volts par élément, avec une intensité de courant variant entre 5.5 et 0,7 ampères par kilogramme et, pendant le reste du temps, soit pendant cinq heures, la tension a éte portée, au moyen d'un survolteur, à 280 volts, soit 2,60 volts par élément, avec une intensité de courant variant entre 3,2 et 0,55 ampères par kilogramme.

Avec les accumulateurs autogènes, genre Tudor, on peut em-

Fig. 23. Courbe de charge d'un élément Tudor.



ployer des intensités de courant plus grandes au début et emmagasiner dans un temps très court, dans la batterie, une proportion très grande de la capacité totale de celle-ci. Ce sont ces éléments à grande surface, pouvant supporter, pour un poids donné, une intensité considérable de courant, qui ont permis l'emploi de la charge rapide à la traction électrique par accumulateurs, dont nous donnons plus loin des exemples.

Pour montrer l'allure de chargement d'un élément de ce type, nous reproduisons *(fig. 23)* le diagramme communiqué par M. Blan-

chon à la Société des Ingénieurs-Électriciens. Il s'agit d'un élément Tudor, semblable à ceux en service sur les tramways de Puteaux et de Neuilly, chargé à voltage constant voisin de 2,6 volts. Cet élément pèse 18 *kg* en ordre de marche et a une capacité utilisable de 60 ampères pour une décharge d'une heure ; pour une décharge en dix heures, la capacité utilisable eût été doublée.

Au début de la charge, l'intensité du courant est de 180 ampères, soit 10 ampères par kilogramme et, au bout de vingt minutes, cette intensité est réduite à 90 ampères, soit moitié.

Au bout de cinq minutes, la quantité emmagasinée est de 15 ampères, soit 25 0/0 de la capacité utilisable ;

Au bout de neuf minutes, la quantité emmagasinée est de 25 ampères, soit 42 0/0 de la capacité ;

Au bout de treize minutes, la quantité emmagasinée est de 33 ampères, soit 55 0/0.

Au bout de vingt et une minutes, la quantité emmagasinée est de 46 ampères, soit 77 0/0.

Décharge. — A fin de charge, nous avons vu que la force électromotrice d'un élément était de 2,5 volts ; au début de la décharge, cette force électromotrice est de 2,1 volts et s'abaisse très rapidement, pendant *le coup de fouet*, à 1,98 volt. Pendant la durée de la décharge, elle varie entre 1,98 et 1,85 volt. A la fin, elle décroît de 1,85 à 1,7 volt et se termine ensuite à 0.

Il ne faut pas laisser le voltage s'abaisser au-dessous de 1,85 volt, sans quoi des détériorations très rapides se produiraient dans la batterie.

Pour avoir la force électromotrice pendant la décharge, il faudra donc multiplier le nombre d'éléments par 1,85 volt.

Capacité d'un accumulateur. — Si on décharge un accumulateur complètement chargé, jusqu'à ce que la force électromotrice tende à devenir inférieure à 1,85 volt, la quantité d'électricité ainsi restituée sera la *capacité utilisable* de cet accumulateur. On peut rapporter cette quantité soit au kilogramme de plaque, soit au décimètre carré de surface d'électrode. C'est le premier rapport qui est le plus généralement employé, du moins en France ; on l'exprime en ampères-heure.

Cette capacité utilisable n'est pas constante : elle varie avec le temps de décharge, suivant une loi variable avec le type d'accumulateurs.

Entre une durée de décharge de dix heures et une de cinq heures, la capacité utilisable varie peu, mais avec une durée de décharge de deux heures elle s'abaisse à 65 0/0, pour une heure à 45 0/0 et pour une demi-heure à 30 0/0.

Pour un élément hétérogène avec oxydes rapportés, on obtiendrait une courbe un peu différente : pour les décharges lentes, les capacités seraient un peu plus grandes et pour les décharges rapides un peu plus faibles.

Si, comme aux tramways de Madeleine-Puteaux, on prend comme base de calcul de la batterie le chiffre de 45 ampères-heure déchargés en une heure, on verra que cette quantité, qui est, du reste, supérieure à celle réellement employée, pourra être récupérée en dix-huit minutes environ, si on se reporte à la figure précédente *(fig. 23)*.

Rendement. — On peut considérer deux espèces de rendements, celui en *quantité* et celui en *énergie.*

Le premier est le rapport entre le nombre d'ampères-heure restitués à la décharge et celui qu'on a dû fournir à la charge. Ce rapport, qui peut atteindre 90 0/0, est, en général, voisin de 80 0/0.

Le rendement en énergie est le rapport entre l'énergie restituée et celle fournie à la charge. Ce rapport est, en moyenne, de 70 0/0. Il est inférieur au premier, par suite de la différence de voltage de l'élément à la charge et à la décharge.

Rendement total. — La charge des accumulateurs se fait, soit directement, soit par l'intermédiaire de feeders, au moyen d'une dynamo à courant continu, avec enroulement compound maintenant constant le champ magnétique ou aussi avec enroulement shunt. Cette dynamo est actionnée par une machine à vapeur, directement ou par courroies.

Il est intéressant de connaître le rendement total du système, c'est-à-dire le rapport entre le travail à la jante des roues du véhicule et celui produit dans le cylindre de la machine à vapeur de l'usine centrale.

Ce rendement dépend de celui :

1° Des moteurs des voitures qu'on peut prendre égal à 0,70, démarrages compris ;

2° Des accumulateurs, qui est de 0,70;

3° De la dynamo génératrice et de la machine à vapeur, qu'on

peut admettre de 0,80 environ, avec rechargement à l'usine, les moteurs ayant, dans ce cas, un travail à peu près constant.

Le rendement total sera donc :

$$0,70 \times 0,70 \times 0,80 = 0,40.$$

Ce chiffre est un maximum qui n'est pas toujours atteint, surtout lorsqu'il s'agit de rechargements à poste fixe, où le travail des machines motrices est moins régulier, par suite de l'inégalité dans le nombre des voitures à charger au même moment et, par suite, des pertes dues aux feeders d'alimentation des postes fixes.

Ces renseignements généraux sur les accumulateurs étant donnés, nous pouvons maintenant examiner leurs différents modes d'application à la traction électrique des tramways. Comme nous l'avons dit au début, ceux-ci sont toujours installés sur la voiture, mais c'est leur mode de rechargement qui peut différer.

Mode de chargement.

a) *Batteries interchangeables. — Le premier mode de rechargement* des accumulateurs, qui consiste à remplacer, à l'usine centrale, la batterie épuisée par une nouvelle, chargée par avance, est le mode le plus anciennement employé et encore aujourd'hui le plus largement usité pour le système de traction par accumulateurs. C'est celui adopté en 1893 par la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine pour les lignes de Saint-Denis-Opéra-la Madeleine-Neuilly.

Au début de l'exploitation, le changement des batteries se faisait après épuisement à peu près complet de celles-ci, c'est-à-dire après trois voyages aller et retour, et le rechargement des batteries à l'usine se faisait en cinq heures.

Actuellement, la batterie est renouvelée après chaque voyage aller et retour, après utilisation d'une partie seulement de sa capacité, ce qui permet de réduire la durée du rechargement à environ trente à trente-cinq minutes.

Nous allons dire quelques mots de cette installation, telle qu'elle existe aujourd'hui, après les différentes transformations successives opérées depuis 1893.

Les lignes en exploitation sont au nombre de trois : 1° Madeleine-Saint-Denis ; 2° Opéra-Saint-Denis ; 3° Saint-Denis-Neuilly.

La longueur des deux premières est d'environ 9250 *m* chacune,

dont la moitié à peu près en dehors de Paris ; les rampes atteignent une inclinaison de 38 *mm* par mètre à certains endroits, notamment dans la rue de Maubeuge, dans la rue de Rome et dans l'avenue de Saint-Ouen.

La longueur de la troisième ligne, celle de Saint-Denis à Neuilly, est de 6 *km* environ, tout entière en dehors de Paris; les rampes y sont faibles et de peu de longueur.

Les rayons des courbes descendent, à certains endroits, jusqu'à 20 *m* de rayon.

L'usine centrale et le dépôt sont installés à Saint-Denis, au point terminus des trois lignes. Le courant nécessaire au rechargement des batteries est fourni par des dynamos Desroziers actionnées par des machines horizontales Corliss. A la vitesse de 600 tours, chaque dynamo produit 230 ampères sous 300 volts et la puissance de la machine Corliss qui les actionne est de 125 *ch*.

Une disposition spéciale avec fosses, wagonets et installation hydraulique permet d'opérer rapidement le changement des batteries de la voiture; cette opération dure de trois à quatre minutes.

La voiture à impériale couverte *(fig. 5, Pl. 227)*, due à M. Johannet, contient 50 places ; la caisse repose sur un truck par l'intermédiaire de ressorts, dont deux extrêmes, à pincette, qui ont pour but de diminuer le mouvement de tangage. Le truck porte, par l'intermédiaire de ressorts à lames, sur deux essieux espacés de 2,10 *m*.

Le poids de la voiture se répartit ainsi :

Voiture à vide	9,500 *t*
Batterie	4,000
Voyageurs.	3,500
Total.	17,000 *t*

Les accumulateurs sont placés dans deux caisses suspendues au-dessous de la voiture, à chacune de ses extrémités. Chaque caisse contient quatre-vingt-douze éléments reliés à poste fixe en série. A la décharge, ces deux caisses étant également accouplées en série, le voltage de décharge est d'environ 350 volts. Chaque élément se compose de six plaques négatives et de cinq positives ; les plaques positives sont à oxyde rapporté, du type à auget; les négatives sont également du type à auget ; les dimensions de ces plaques sont de 100 × 300 *mm*.

Chaque élément, y compris l'acide, les bacs et les connexions, pèse 22 *kg* et la capacité utilisable de chaque élément, avec une décharge de deux heures et demie, est d'environ 100 ampères-heure, soit, par kilogramme d'élément, $\frac{100}{22} = 4,54$ ampères-heure, avec une énergie utilisable de $4,54 \times 1,85 = 8,40$ watts-heure.

Chaque essieu est actionné par un moteur à simple réduction, type Walker, excité en série et produisant environ 30 *ch* à la vitesse de 600 tours.

La régulation s'obtient par la méthode série-parallèle avec six modes de groupage, trois, dont deux avec résistances pour les deux moteurs en série, et trois également, avec deux résistances, lorsqu'ils sont en parallèle.

Le freinage des voitures se fait soit par un frein ordinaire à sabot, soit par le freinage électrique, en mettant les deux moteurs en court circuit l'un sur l'autre.

La dépense moyenne d'énergie, pour un voyage aller et retour de 19 *km*, entre Saint-Denis et la Madeleine ou l'Opéra, est de 16 kilowatts-heure, c'est-à-dire 842 watts-heure par kilomètre-voiture, et de $\frac{842}{16} = 53$ watts-heure par tonne kilométrique. La dépense moyenne est donc : $\frac{16\,000}{350} = 46$ ampères-heure pour ce voyage aller et retour. C'est cette dépense qui est restituée à la batterie, après chaque voyage.

Le rechargement se fait en groupant les deux caisses en parallèle de manière à avoir un voltage à la charge de $92 \times 2,6 = 240$ volts, voltage un peu inférieur à celui qui peut être produit par les dynamos de l'usine centrale. L'intensité du courant, au début, est d'environ 150 ampères soit : $\frac{150}{22} = 6,84$ ampères par kilogramme de plaque. A la fin de la charge, qui dure de 30 à 35 minutes, l'intensité du courant est réduite à 40 ampères.

Le même système de rechargement vient d'être appliqué par la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine aux nouvelles voitures à accumulateurs destinées au service de la ligne de la Madeleine à Gennevilliers. Ces voitures *(fig. 6, Pl. 227)*, sont entièrement semblables à celles d'Aubervilliers et de Pantin et les accumulateurs sont disposés de même entre les deux bogies. Seulement le nombre d'éléments est réduit à 160

et chaque élément du poids de 26 *kg* est composé de 13 plaques à augets et à oxyde rapporté de 100 × 300 *mm.*

Une installation semblable a été faite ces temps derniers à Ostende et une autre vient d'être inaugurée à Gand pour un réseau de tramways d'environ 40 *km* de longueur.

Nous pouvons encore citer, en Europe, les lignes suivantes où ce mode de traction par accumulateur et chargement de batterie à l'usine centrale, est appliqué :

En Allemagne : le réseau de tramway de 70 *km* de longueur de la ville de Dusseldorf; celui de 8,4 *km* de Hagen; celui de 4,8 *km* de Charlottenbourg et enfin celui de 61 *km* de Ludwigshafen.

En Angleterre : la ligne de tramway de Birmingham de 4,8 *km* de longueur.

En Hollande : le tramway de la Haye-Scheveningue de 3,2 *km* de longueur.

En Italie : le tramway installé par la Société Italienne des Chemins de fer de la Méditerranée, sur une longueur de 13 *km* entre Milan et Monza, sur la grande ligne internationale reliant Milan avec Bâle par le Gothard. Sur cette ligne, nouvellement ouverte, circulent des voitures à bogie de 17,80 *m* de-longueur contenant 64 places. Ces voitures, actionnées par deux moteurs, un sur chaque bogie, pèsent 58 *t*, dont 18 *t* pour les accumulateurs. Ceux-ci, placés dans des caisses au-dessous de la voiture, se composent de 130 éléments divisés en deux batteries, pouvant être associés soit en parallèle, soit en série Dans ce cas qui est celui de la marche normale, le voltage de décharge est de 240 volts. Le rechargement se fait sur la voiture même, sans déplacement des accumulateurs. Le courant de rechargement est fourni par les courants triphasés à 3 600 volts produits par l'usine de Padderno-d'Adda et transformés en courant continu par un transformateur rotatif à la gare de Milan.

La vitesse de marche est de 45 *km* à l'heure et le prix de revient des voitures, toutes équipées, est de 100 000 *f.*

b) *Station de rechargement des batteries.* — Avec le *deuxième mode de rechargement* des accumulateurs, cette opération se fait à poste fixe et à des endroits désignés.

On en trouve une application très intéressante sur la ligne de tramways Madeleine-Levallois-Courbevoie-Neuilly appartenant à la Compagnie des tramways de Paris et du Département de la

Seine (1). Ce réseau se compose de trois lignes : l'une, de 6,9 *km*, relie la Madeleine à Courbevoie-Neuilly; l'autre, de 5,3 *km*, relie la Madeleine avec Courbevoie; la troisième, d'une longueur de 4,9 *km* se termine à Levallois. Le profil en long de ces lignes, quoique peu accidenté, présente cependant à l'aller, boulevard Malesherbes, une rampe continue de 0,016 *m* sur 900 *m* de longueur. Au retour, on trouve avenue de Villiers, une rampe continue de 0,010 à 0,012 *m* sur 950 *m*.

Les accumulateurs, placés sous les banquettes des voitures, sont rechargés à chacun des postes terminus après un voyage aller et retour et pendant le stationnement des voitures, c'est-à-dire pendant 10 minutes environ. Chacun de ces points terminus est relié, au moyen de feeders, à l'usine centrale de Puteaux, installée sur le bord de la Seine, dans le but de faciliter l'approvisionnement en charbon et en eau. Ces feeders sont calculés de manière que la perte de potentiel soit la même pour chacun d'eux et d'environ 10 à 13 0/0.

Dans l'usine centrale se trouvent des générateurs de vapeur multitubulaires Babcock et Wilcox, timbrés à 16 *kg*, servant à alimenter trois machines à vapeur verticales à triple expansion du type Willans et Robinson. Ces machines, d'une puissance de 200 *ch* chacune, à la vitesse de 460 tours par minute, actionnent directement des dynamos Brown à 4 pôles et excitation shunt, avec calage fixe et balais au charbon, fournissant 200 ampères sous 600 ou 660 volts, soit environ 120 kilowatts.

Le nombre des voitures en chargement ne pouvant être toujours le même, et ce chargement ne pouvant être soumis à un horaire absolument fixe, on a installé à l'usine centrale une batterie d'accumulateurs formant *volant*, qui permet de faire fonctionner les génératrices à charge presque constante.

Le potentiel aux postes de charge des voitures varie entre 574 et 587 volts.

Les postes de charge aux points terminus où aboutissent les feeders d'alimentation ont la forme d'avertisseurs d'incendie. La boîte de prise du courant, placée à la partie supérieure de la colonne, est reliée au moyen de deux câbles souples en caoutchouc, aux accumulateurs des voitures, et un appareil sonore prévient le wattman lorsque la batterie est à fin de charge.

Les voitures à impériale couverte contenant 50 places, pèsent

(1) Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France*, juin 1898. Traction électrique des tramways par accumulateurs à charge rapide (Drouin).

14 *t* en ordre de marche. La caisse repose, au moyen de six ressorts, sur un truck qui, lui-même, repose sur les essieux par l'intermédiaire de ressorts à lames.

Chaque essieu est actionné par une dynamo à simple réduction d'une puissance normale de 15 *ch* et de 25 *ch* au maximum.

Les accumulateurs, placés sous les banquettes, sont du type Tudor, dont nous avons parlé précédemment. Ils se composent de 200 éléments couplés à poste fixe en série, donnant un voltage aux bornes d'environ 400 volts. Chacun des éléments pèse 18 *kg* avec les accessoires, soit pour la batterie un poids total de 3 600 *kg*. Chaque élément se compose de deux plaques positives formation Planté, et de trois plaques négatives formation Faure.

La régulation de la vitesse s'obtient au moyen d'un régulateur série-parallèle avec rhéostat liquide au début.

Un commutateur placé sur la plate-forme de la voiture permet de mettre la batterie en communication, soit avec le régulateur, soit avec les bornes des postes de charge.

L'énergie dépensée par kilomètre-voiture aux bornes de celle-ci, a été trouvée, à la suite de nombreuses expériences, de 550 watts-heure; celle de l'usine centrale étant de 770 watts-heure, le rendement moyen est de 70 0/0.

Cette énergie dépensée de 550 watts-heure par kilomètre-voiture correspond, pour un parcours de 14 *km* aller et retour entre la Madeleine et Courbevoie, à une dépense en ampères-heure de

$$\frac{550 \times 14}{400} = 20 \text{ ampères-heure environ.}$$

Or si nous nous reportons à la courbe de charge donnée plus haut *(fig. 23)*, nous voyons que cette énergie pourra être récupérée en 7 minutes environ. En pratique cette durée de charge varie entre 8 et 13 minutes, par suite du rendement de l'accumulateur qui nécessite une récupération de $\frac{20}{0,7} = 25$ ampères-heure.

Au début de la charge, l'intensité du courant est de 180 ampères, soit par kilogramme de plaques, de : $\frac{180}{18} = 10$ ampères ou, par décimètre carré de surface. de : $\frac{10}{20} = 0,5$ ampère. En fin de charge cette intensité est de 150 ampères, soit : $\frac{160}{18} = 8,35$ ampères par kilogramme de plaque.

B. — **Locomotives sans foyer** *(Système Lamm et Francq)* (1).

Ce mode de traction où la vapeur n'est plus produite par la combustion dans un foyer intérieur comme dans les locomotives ordinaires et où, par conséquent, on évite les inconvénients inhérents à ce système, est surtout applicable à la traction de trains formés de plusieurs voitures; c'est donc sur les réseaux suburbains qu'il trouve, selon nous, plus naturellement sa place, non pas qu'en principe il ne puisse s'appliquer à des automotrices; mais, jusqu'ici du moins, nous n'en connaissons pas d'exemple.

Dans ce système la production de la vapeur est basée sur la grande capacité calorifique de l'eau.

La locomotive sans foyer se compose d'un réservoir formant chaudière, dans lequel se trouve une certaine quantité d'eau dont la température a été portée à un degré assez élevé et correspondant généralement à une pression initiale de 15 *kg*.

Cette chaudière, cylindrique, en tôle d'acier, enveloppée d'un enduit calorifuge, afin d'éviter la déperdition de calorique, est disposée sur un bâti en fer reposant lui-même sur deux essieux.

La masse d'eau, renfermée dans la chaudière, contient donc emmagasinée une quantité de chaleur capable de produire de la vapeur, à mesure que la pression initiale de la chaudière va en s'abaissant, par suite de l'utilisation de cette vapeur comme force motrice. La quantité de vapeur produite dépendra du volume d'eau contenu dans la chaudière et de la différence entre la pression initiale et la pression finale.

On limite généralement la pression initiale à 15 *kg* parce que, au-dessus de ce chiffre, tout accroissement de pression n'augmente que dans de très faibles proportions la vapeur produite par kilogramme d'eau.

Il n'en est plus de même pour la pression finale qu'il y aurait intérêt à abaisser autant que possible; mais alors la pression d'admission dans les cylindres moteurs devient trop faible : le rendement diminue, la consommation de vapeur par cheval augmente, et l'on se trouve dans l'obligation d'avoir des cylindres de grand diamètre et, par suite, lourds et encombrants.

(1) Le système Lamm, qui consistait à transvaser de l'eau à haute température, est abandonné. Le système Francq consiste à réchauffer l'eau du récipient par injection de vapeur.

On s'est donc décidé à prendre comme limites extrêmes : 15 *kg* comme maximum et 3 *kg* comme minimum, cette dernière pression étant la pression normale d'admission dans les cylindres. Toutefois, comme cette dernière serait insuffisante dans certains cas, et ne permettrait pas d'aborder des rampes assez fortes et de grande longueur, il faut, au moyen d'un détendeur spécial, se réserver la possibilité d'introduire dans les cylindres de la vapeur jusqu'à 8 *kg*, et, pour cela, n'aborder les plus fortes rampes que près des usines de chargement ou au moment où la presion dans la chaudière est encore supérieure à 8 *kg*, c'est-à-dire, après avoir accompli à peu près les deux cinquièmes du parcours total possible.

Quant au volume d'eau à introduire dans le récipient, il dépend du poids à traîner et du parcours à faire sur un profil donné.

La vapeur ainsi produite, à mesure des besoins, est recueillie dans un dôme placé à la partie supérieure de la chaudière, puis envoyée dans les cylindres moteurs; mais, sur son trajet, elle rencontre : d'abord un détendeur, qui permet au mécanicien de régler, à sa volonté, la pression d'admission dans les cylindres, quelle que soit celle du récipient; puis ensuite elle circule avant son arrivée aux cylindres, dans un tuyau placé, soit à l'intérieur du corps cylindrique, soit au milieu de gaz chauds produits par un appareil spécial, où elle se trouve séchée et même surchauffée.

L'appareil moteur ne présente rien de particulier et a beaucoup de ressemblance avec celui d'une locomotive ordinaire. Il se compose de deux cylindres, le plus souvent intérieurs, mais qui, cependant, peuvent être extérieurs; la distribution de la vapeur et le changement de marche s'opèrent avec les dispositions Stephenson, Walschaert, Joy ou autres. Dans le but d'éviter les retournements aux points terminus, on a soin de mettre en double les appareils de manœuvre, soit de la machine, soit des freins.

Les cylindres actionnent par des manivelles un des essieux relié au second par un accouplement.

La vapeur, en sortant des cylindres, se répand dans l'atmosphère; mais, afin d'éviter le panache de vapeur des locomotives ordinaires, on fait passer celle-ci soit dans un appareil formé de tuyaux placés au milieu d'un courant de gaz chauds qui la surchauffe et la rend invisible, soit dans l'eau froide, soit dans une lessive de soude, soit enfin dans un condenseur tubulaire à eau ou à air.

Lorsque la quantité de chaleur emmagasinée dans l'eau de la chaudière est épuisée et la pression finale atteinte, il faut introduire dans celle-ci une nouvelle quantité de vapeur un peu supérieure à la quantité dépensée, afin de tenir compte des pertes, et ayant une pression dépassant d'environ 1 *kg* la pression initiale dans le but de faciliter son introduction dans le récipient.

Ce rechargement s'opère dans une usine centrale où sont installées des chaudières, généralement multitubulaires, si l'écoulement de vapeur se faît d'une façon continue, mais qui cependant peuvent être de toute autre disposition ; dans tous les cas elles doivent être à grand volume d'eau si l'écoulement se fait par intervalle assez long entre deux charges. Les seules conditions qu'elles aient à remplir, c'est d'avoir une puissance de production de vapeur au moins égale à celle qui doit être fournie aux différentes locomotives en service, et de plus, de produire cette vapeur économiquement, en vaporisant au moins 8 *kg* d'eau par kilogramme de charbon ordinaire.

Le rechargement des locomotives s'opère en amenant celles-ci sur des voies munies de fosses. Des tuyaux longitudinaux à ces fosses sont branchés sur un gros tuyau qui, lui, est raccordé aux batteries des chaudières productrices de vapeur et sert de réservoir commun pour l'alimentation des différentes locomotives en rechargement. Un branchement relie chacun des tuyaux longitudinaux des fosses avec le corps du récipient de la locomotive ; un robinet d'introduction est réservé à cet effet. La vapeur, en pénétrant dans la chaudière, suit un tube perforé d'une façon particulière, placé horizontalement à la partie basse de celle-ci, s'échappe par ces petites ouvertures et traverse la masse d'eau qu'elle réchauffe rapidement et uniformément.

Le rechargement d'une chaudière dure généralement 20 minutes; mais il peut se faire en moins de temps. Par exemple, une batterie de chaudières qui aurait à charger 12 locomotives par heure, devrait opérer le chargement d'une machine en moins de 5 minutes. Le volume d'eau des chaudières devrait être calculé en conséquence, ainsi que la section d'écoulement de la vapeur, à son arrivée dans l'eau du récipient.

M. de Marchena dans son mémoire de 1894, s'est longuement étendu sur les locomotives sans foyer; il les a examinées d'une manière très intéressante, au point de vue technique et pratique, en donnant des renseignements complets sur les différentes applications faites jusqu'à cette époque. Nous-mêmes, aussi, dans

notre ouvrage sur la *Traction mécanique des tramways*, publié en 1897, avons étudié en détail ce système de traction; nous n'y reviendrons donc pas. Nous nous contenterons de rappeler les chiffres qui servent de base à l'étude des locomotives sans foyer.

Production de vapeur et travail. — La quantité de vapeur produite par 1 *kg* d'eau dont la pression s'abaisse depuis 15 *kg* jusqu'à 3 *kg*, chiffres généralement adoptés dans la pratique, est 125 *g*.

Le travail effectif produit par 1 *kg* de vapeur introduit dans un cylindre, avec une pression de 3 *kg*, une admission de 30 0/0 et un espace nuisible de 7 0/0, est de 12 000 *kgm*.

D'où il résulte que : 1 *kg* d'eau contenu dans la chaudière, en admettant les pressions extrêmes de 15 et 3 *kg*, produit un travail de $12\,000 \times 0{,}125 = 1\,500$ *kgm*.

Enfin, la consommation de vapeur par cheval-heure est de $\frac{270\,000}{12\,000} = 22{,}5$ *kg*, correspondant avec une vaporisation de 8 *kg*, par kilogramme de charbon, à une dépense de charbon de $\frac{22{,}5}{8} = 2{,}80$ *kg* par cheval heure (1).

Détermination du poids de la locomotive. — Une dernière question intéressante est celle relative au poids à donner à une locomotive destinée à remorquer un poids donné sur un profil déterminé. Nous allons dire quelques mots de cette question.

On sait qu'une locomotive sans foyer pesant un poids P en charge, contient généralement un poids d'eau représenté par 0,25 P. Or, chaque kilogramme d'eau, lorsque la pression dans la chaudière s'abaisse de 15 à 3 *kg*, comme c'est le cas habituel, produit un travail de 1 500 *kgm*.

Donc le volume d'eau total contenu dans le récipient produira un travail représenté par :

$$0{,}25 \times 1\,500 \times P = 375\ P.$$

Si ce travail est produit pendant un temps T, le travail en chevaux, par seconde, sera :

$$\frac{375}{75}\frac{P}{T} = 5\frac{P}{T}.$$

(1) Dans la pratique la vapeur opère avec une pression moyenne de 5 *kg* dans les cylindres.

Le poids de la locomotive par cheval-heure sera donc :

$$p = \frac{P}{\frac{5P}{T}} = \frac{T}{5}.$$

Il ne dépend donc que du temps de marche pendant lequel la vapeur sera utilisée. Plus sera court ce temps, moins sera élevé le poids par cheval et plus sera économique l'exploitation.

Si nous reportons cette valeur dans la formule :

$$x = \frac{P'n}{\frac{1\,000}{p} - n'},$$

qui représente le poids d'une locomotive devant remorquer un poids P′ sur une ligne où n et n' sont le nombre de chevaux nécessaires pour remorquer 1 t de train et de locomotive, sur un profil donné et à une vitesse déterminée, on a :

$$x = \frac{P'n}{\frac{1\,000}{\frac{T}{5}} - n'} = \frac{P'n}{\frac{5\,000}{T} - n'}.$$

Donc le poids d'une locomotive croît avec le poids mort à remorquer et la résistance du profil, ce qui est évident *a priori*, mais on voit aussi qu'il est en raison inverse du temps T pendant lequel l'eau totale du récipient est utilisée. Ceci montre l'avantage, surtout sur les profils un peu accidentés, du rapprochement des usines centrales, permettant un rechargement plus fréquent des récipients, un poids moins grand du moteur et, par suite, une exploitation plus avantageuse.

Il est bien évident que ce rapprochement des usines de rechargement entraîne une dépense supplémentaire dont il faut tenir compte. C'est une étude particulière à faire pour chaque ligne, en mettant en balance, d'un côté, cette dépense supplémentaire due aux usines, et de l'autre, l'économie d'exploitation due au poids moins grand à remorquer résultant du poids moindre du moteur.

Une des dernières installations de lignes avec traction par locomotive sans foyer est celle du tramway de Saint-Germain à Poissy, ouverte en avril 1896. Nous en dirons quelques mots, d'autant plus que la locomotive présente des dispositions nouvelles, intéressantes, qui la différencient du moteur antérieur décrit par M. de Marchena.

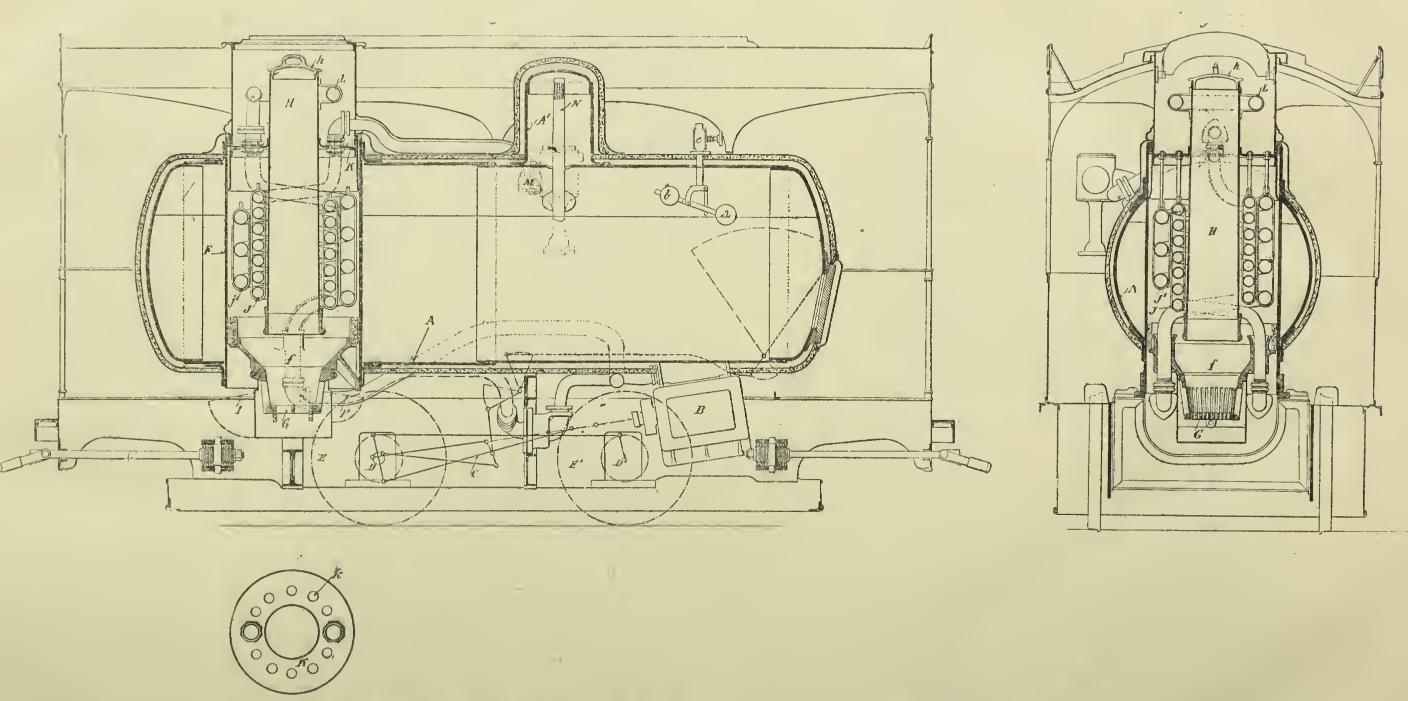


Fig. 24. — Locomotive sans foyer du tramway de Saint-Germain à Poissy.

Tramways de Saint-Germain à Poissy. — Le tramway de Saint-Germain à Poissy, d'une longueur de 5 400 *m*, est à voie unique placée en accotement sur la route. La pente maximum est de 52 *mm* sur une longueur de 500 *m* environ avant l'entrée dans Poissy; sur le reste du parcours, la pente moyenne ne dépasse pas 8 *mm*.

Les courbes ont un rayon variant entre 500 et 25 *m;* elles existent sur 1/6ᵉ du parcours; les courbes de 25 *m* sont à la sortie de Saint-Germain et dans Poissy.

La voie est en rails Vignole posés sur traverses, sauf dans la traversée de Poissy où les rails sont à ornières du système Marsillon.

Les *locomotives (fig. 24 et fig. 4, Pl. 227)* ont les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre.	0,350 *m*
Courses des pistons	0,300 *m*
Diamètre des roues	0,850 *m*
Diamètre intérieur de la chaudière	1,200 *m*
Longueur de la chaudière	4,200 *m*
Volume total de la chaudière.	4 000 *l*
Volume d'eau.	3 600 *l*
Pression maximum	15 *kg*
Poids à vide	12 *t*
Poids en charge.	15,6 *t*

Le détendeur est à peu près le même que celui des locomotives de l'Étoile à Saint-Germain, mais ce qui caractérise cette locomotive et la différencie des autres types antérieurs, c'est la suppression du condenseur à air et son remplacement par un *surchauffeur de vapeur*, qui a donné de très bons résultats, en réduisant d'une manière appréciable la consommation de vapeur.

Vers l'une des extrémités, le récipient A est traversé par un gros tube vertical F qui est rivé sur lui et qui reçoit les appareils de surchauffe.

Ceux-ci comprennent un foyer conique *f*, une grille circulaire mobile G qu'on peut animer d'un mouvement circulaire intermittent ou continu, dans le but d'expulser les mâchefers et les escarbilles; un tube vertical de chargement de combustible H, fermé à sa partie supérieure par un couvercle *h*; des vannes I et L que le mécanicien commande de sa plate-forme et qui permettent de régler l'entrée de l'air sous la grille, suivant le sens

de la marche et l'intensité de la combustion et, finalement, les serpentins J et J′ qui entourent le tube de rechargement et sont en contact direct avec les gaz du foyer; le serpentin intérieur est parcouru par la vapeur se rendant aux cylindres et le serpentin extérieur J′ par la vapeur d'échappement. Les gaz du foyer s'échappent par les trous K percés dans la plaque horizontale et la vapeur d'échappement, après avoir été surchauffée dans le gros serpentin J′, vient se mélanger avec les gaz chauds, en sortant par les trous pratiqués sur le pourtour de la couronne L. De cette façon, la vapeur d'échappement surchauffée et mélangée aux gaz du foyer, qui sont encore à haute température, peut être complètement invisible à sa sortie; on évite ainsi le panache, si l'on donne au surchauffeur une surface de chauffe calculée pour cela.

De plus, la vapeur produite par l'eau du récipient est surchauffée à son passage dans le serpentin J, avant de se rendre aux cylindres, ce qui, comme nous l'avons dit plus haut, donne une économie de vapeur pour un même travail, en permettant d'augmenter sensiblement le parcours pour une même quantité d'eau chaude, puis d'accroître en rampe l'énergie du démarrage (1).

Les voitures sont à bogie et à intercirculation; elles sont élégantes, hautes, confortables et bien aménagées; elles contiennent 50 et 60 places (voitures d'été), leur poids respectif à vide est de 5 600 et 5 160 *kg*.

C. — **Traction par l'air comprimé** *(Système Mékarski).*

Le principe de ce mode de traction est le suivant. Des compresseurs, actionnés par une machine à vapeur, refoulent dans des réservoirs, installés dans l'usine centrale, de l'air à une certaine pression. Cet air comprimé est ensuite transvasé dans d'autres réservoirs placés sur les véhicules et sert à produire la force motrice de ces derniers, en agissant dans des cylindres actionnant les essieux.

Avant l'épuisement de l'air contenu dans les réservoirs des véhicules, ceux-ci reviennent à l'usine centrale ou à des points fixes de chargement, pour renouveler leur approvisionnement.

(1) M. Francq nous a fait savoir que le dispositif adopté à Poissy, à titre d'essai, en raison des effets consignés à la suite d'expériences, sera perfectionné dans d'autres applications qu'il a projetées.

Dans ce système on a donc :

1° A comprimer de l'air dans les réservoirs de l'usine centrale à une pression qui reste à déterminer ;

2° A prendre dans ces réservoirs l'air comprimé et à l'introduire à la même pression dans les réservoirs des voitures, soit à l'usine centrale, soit à des points fixes et déterminés;

3° Enfin, à employer cet air emmagasiné dans les réservoirs des voitures, pour obtenir la force nécessaire à leur propulsion.

Ce sont ces différentes questions, ainsi que les dispositions prises pour les résoudre pratiquement, que nous allons résumer brièvement.

Tout d'abord nous ferons remarquer qu'en employant de l'air comprimé à des pressions élevées, on emmagasine dans les voitures, sous un petit volume, un poids d'air permettant de parcourir une plus grande distance sans renouvellement. Mais, d'un autre côté, le travail de compression augmente, ainsi que les pertes inévitables résultant de la différence entre la pression des réservoirs et celle d'admission dans les cylindres.

Avec des pressions faibles (15 à 20 *kg)*, on évite ce dernier inconvénient, mais, par contre, les renouvellements d'air deviennent plus fréquents, les points de rechargement se multiplient et les frais de traction augmentent.

En fait, quoique quelques Ingénieurs préconisent des pressions moyennes, voisines de 50 *kg*, on semble cependant, actuellement, tendre vers l'emploi de pressions plus élevées. Sur la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes, la Compagnie Générale des Omnibus admet une pression de 60 *kg*, et sur celle de Louvre-Boulogne-Versailles, une pression de 80 *kg*; c'est cette dernière pression qu'elle adoptera pour ses nouvelles installations sur les lignes d'Auteuil-Madeleine, Montrouge-Gare de l'Est, Passy-Hôtel de Ville et Muette-Taitbout. La traction, sur ces lignes, se fera exclusivement au moyen d'automotrices.

Usine centrale de compression de l'air. — Comme le travail nécessaire pour la compression de l'air, surtout aux pressions élevées de 60 ou 80 *kg* est toujours considérable, il y a lieu de rechercher le mode de compression le plus économique. Or, le calcul et l'expérience démontrent que la compression isothermique, c'est-à-dire celle où, pendant la compression, la température de l'air reste à peu près constante, est de beaucoup la plus avantageuse. Pour des pressions de 80 *kg*, le travail nécessaire est

environ la moitié de celui résultant de la compression adiabatique, où la température de l'air varie pendant la compression.

Aussi est-ce au premier mode de compression qu'on a toujours recours, en refroidissant d'abord les cylindres de compression par une circulation d'eau autour de leurs parois et en refroidissant ensuite l'air à comprimer par des injections d'eau.

De plus, lorsqu'il s'agit de pressions élevées, on a recours à la compression étagée qui permet de se rapprocher presque complètement de la compression isothermique.

Dans ce cas, on a reconnu que le meilleur résultat est obtenu lorsqu'un même rapport est donné aux compressions successives, c'est-à-dire lorsque :

$$R = \sqrt[n]{P}$$

où P représente la pression finale et *n* le nombre d'étages.

Ainsi, pour une compression d'air à 80 *kg* avec trois étages, on a :

$$K = \sqrt[3]{80} = 4{,}31 \; kg.$$

On comprime d'abord l'air dans un premier cylindre à la pression de 4,31 *kg* et on envoie cet air dans un petit réservoir où il prend la température ambiante. Il est ensuite comprimé dans un second cylindre, de la pression de 4,31 *kg* à celle de $4{,}31 \times 4{,}31 = 18{,}50$ *kg*, puis refroidi dans un second petit réservoir. Enfin, il est comprimé de la pression de 18,50 *kg* à la finale de :

$$18{,}50 \times 4{,}31 = 80 \; kg.$$

Par suite de ces refroidissements successifs dans les petits réservoirs et, par suite des injections d'eau dans les différents cylindres, la compression peut être considérée comme pratiquement isothermique.

En tenant compte du rendement des compresseurs, qui varie entre 0,63 pour une compression à deux étages, et 0,58 pour une compression à trois étages, et du rendement de la machine à vapeur motrice qui est de 0,80, on obtient les chiffres suivants qui donnent le nombre de kilogrammes d'air comprimé, par cheval-heure, dans le cylindre de la machine à vapeur, en admettant la compression isothermique.

Pression finale,	30 *kg*	4,34 *kg*
—	50	3,68
—	60	3,24
—	80	3,03

Le type de compresseur à trois étages, pour une compression à 80 *kg*, adopté par la Compagnie Générale des Omnibus, se compose de deux cylindres inférieurs de 0,40 *m* de diamètre qui compriment l'air à la pression de 4,31 *kg*; le second cylindre supérieur de gauche, de 0,25 *m* de diamètre, le comprime à 18,50 *kg*, et le cylindre supérieur de droite à la pression de 80 *kg*.

Après sa compression. l'air est emmagasiné dans des réservoirs installés dans l'usine centrale. Mais avant de pénétrer dans ces réservoirs, on lui fait traverser d'abord un sécheur qui a pour but de débarrasser l'air de l'eau qu'il peut contenir et qui a pu s'y accumuler pendant la compression, puis un appareil qui porte le nom de déverseur, dont le but est de ne permettre la communication, entre les différentes parties de la canalisation d'air comprimé, qu'à une pression fixe et déterminée, mais ne pouvant jamais dépasser la pression limite fixée.

Les réservoirs qui sont disposés en batterie sont formés de cylindres en tôle d'acier réunis ensemble par une tuyauterie. Chaque cylindre a généralement un diamètre de 0,60 *m* et une hauteur de 2,30 *m*. Sa contenance est de 500 *l*.

Bouches de chargement. — Pour charger les voitures, on dispose des rampes de chargement dans l'usine centrale, contre un mur formant l'extrémité d'un hangar où sont disposées, perpendiculairement à ce mur, des voies avec fosses pour y recevoir les véhicules à recharger. Ces bouches de rechargement sont formées de deux tuyaux avec robinets, l'un pour l'air comprimé. l'autre pour la vapeur dont nous expliquerons tout à l'heure l'usage.

Lorsque le rechargement d'air ne se fait pas à l'usine centrale, mais en un point déterminé du réseau, on relie ce point avec l'usine centrale par une canalisation, soit en fonte, soit souvent en acier doux soudé, comme l'a fait la Compagnie générale des Omnibus, sur la ligne Boulogne-Sèvres où la pression est de 80 *kg* et où la canalisation atteint une longueur de 4 200 *m*; ces tuyaux ont un diamètre de 0,06 *m*.

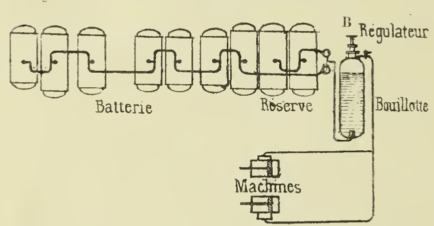
Lorsque, dans certains cas exceptionnels, la distance entre les deux postes devient considérable, on installe un petit hangar contenant une chaudière pour la production de la vapeur et de petits réservoirs d'air comprimé, en communication par la canalisation avec ceux de l'usine centrale.

Appareils moteurs des voitures. — L'air comprimé des réservoirs de l'usine centrale est introduit, soit à cette usine, soit aux bouches de rechargement situées sur la voie publique, dans des réservoirs *ad hoc* installés sur chaque véhicule; la pression dans ces réservoirs est la même que celle des réservoirs de l'usine.

Ces réservoirs, dont le volume dépend du parcours que les voitures ont à faire, sont placés sous la caisse entre les longerons et transversalement à l'axe longitudinal.

La figure 25 montre la disposition adoptée par la Compagnie générale des Omnibus. Les sept éléments qui forment la batterie d'arrière servent pour la marche normale et les deux éléments qui composent la batterie d'avant forment la réserve, en cas, soit de détresse, soit de rampes exagérées.

Fig.25. Schéma de l'appareil moteur des voitures et des réservoirs



Chaque élément de cette batterie est formé d'un cylindre en tôle d'acier de 0,60 *m* de diamètre et de 1,20 *m* à 1,50 *m* de longueur; l'épaisseur de la tôle est de 12 *mm* pour une pression de 60 *kg*. Ces cylindres sont en tôle emboutie et l'un des fonds forme un seul et même morceau avec la partie cylindrique.

Nous avons donc dans ces réservoirs des voitures un poids d'air à une pression élevée et qui doit donner la force motrice nécessaire à la propulsion de la voiture, en le faisant agir par détente dans des cylindres moteurs actionnant les essieux.

Cet air est à la température ambiante, c'est-à-dire 12° environ, et si, dans ces conditions, on le fait agir dans les cylindres, il se détendra adiabatiquement, puisque, pendant ce travail, il n'y a aucun réchauffement d'air. Mais à la fin de la détente, en supposant une pression d'admission dans les cylindres de 7 *kg*, cette température finale deviendra — 110°. L'eau contenue dans l'air se transformera en glace et bouchera toutes les ouvertures, lumières et purgeurs des cylindres.

Si, au contraire, on augmente par un moyen quelconque la température de l'air au moment où il va se détendre, la température finale se relèvera et, ce qui est aussi important, le travail produit par kilogramme d'air, pendant la détente, augmentera également. Ainsi, si ce travail est 1, lorsque la température

d'admission est de 12°, il deviendra 1,30 pour une température d'admission de 100° et de 1,65 pour 200°.

Si, enfin, en outre du réchauffement de l'air *avant la détente*, on maintient ce réchauffement *pendant toute la durée de la détente*, d'adiabatique qu'elle était, celle-ci deviendra isothermique et le travail par kilogramme d'air augmentera.

Donc, pour rendre possible et pratique l'emploi de l'air comprimé comme force motrice, il faut élever à une certaine température l'air comprimé avant sa détente et maintenir cette augmentation de température pendant toute la durée de cette détente.

C'est en se basant sur ces principes, que M. Mékarski a étudié son système, ainsi que les dispositions adoptées par la Compagnie générale des Omnibus : nous allons les décrire brièvement.

Un réservoir *(fig. 25)* rempli d'eau chaude, à la température de 165 à 180°, est placé sur le véhicule. L'air comprimé pénètre dans ce réservoir, puis traversant la masse d'eau chaude, il s'échauffe et, en même temps, se sature de vapeur d'eau.

Cet air, chaud et saturé, se rend ensuite à la partie supérieure du réservoir pour être admis ensuite, à la volonté du mécanicien, dans les cylindres moteurs, au moyen du détendeur B.

Les deux conditions dont nous avons parlé tout à l'heure sont donc remplies, et la détente dans le cylindre se fera isothermiquement.

Certains perfectionnements seront apportés à ce réchauffeur d'air dans les nouvelles installations de la Compagnie des Omnibus.

Le détendeur est représenté figure 26. L'air saturé de vapeur d'eau pour passer du réservoir A (la bouillotte) dans le réservoir O, et, de là, aux cylindres moteurs, doit traverser la soupape d'introduction S, maintenue fermée par un ressort, et par la pression dans la bouillotte. Cette soupape est munie d'une tige *b* s'appuyant sur le plateau P, qui s'appuie lui-même sur un disque en caoutchouc fixe *a*.

A la partie supérieure le réservoir H, rempli d'eau, est surmonté d'une cloche K pleine d'air. Par la manœuvre de la vis M, au moyen du volant N, on peut abaisser ou relever la cloche K et, par suite, faire varier la pression dansce système KH qui forme presse hydraulique. Comme le fond du réservoir H est percé de trous, toute variation de pression, produite dans la presse hydraulique, sera transmise au diaphragme *a*, au pla-

teau P et, par suite, à la soupape S d'introduction d'air. On obtiendra ainsi une élasticité très grande et le mécanicien pourra, sans difficulté, régler la pression d'admission d'air dans les cylindres moteurs.

L'air saturé est admis dans les cylindres à une pression varia-



Fig. 26. Détendeur.

ble, suivant le travail à produire, mais ne dépassant pas 14 *kg*; elle est, en général, voisine de 8 *kg*; quant à l'admission, elle varie entre 25 et 30 0/0.

Une question intéressante et importante au point de vue pratique, est celle relative au travail produit par 1 *kg* d'air se dé-

tendant dans le cylindre, en supposant une admission de 30 0/0 et des pressions variables.

M. de Marchena, dans son mémoire et nous, dans notre ouvrage sur la traction mécanique des tramways, avons examiné assez longuement cette question. Il nous suffira de rappeler ici que, d'après les différentes consommations régulièrement relevées sur la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes, de la Compagnie générale des Omnibus, on semble pouvoir admettre que le travail à la jante produit par 1 *kg* d'air est d'environ 23874 *kgm* et dans les cylindres moteurs de 29 842 *kgm*, ce qui, en définitive, donne entre la machine à vapeur de compression et la jante des voitures, aux différentes pressions, les rendements suivants (1) :

Pressions.	Rendements.
30 *kg*	38 0/0
50	33 0/0
60	29 0/0
80	27 0/0

On voit, d'après ce tableau, l'avantage des pressions modérées, si, à côté de cela, ne se trouvait pas le grave inconvénient des renouvellements fréquents.

Il résulte également de ces chiffres que le poids d'air dans les cylindres, nécessaire pour y produire un cheval-heure, est de 9,05 *kg*.

Automotrices de Saint-Augustin. — Les automotrices de la ligne Saint-Augustin-Cours de Vincennes peuvent remorquer une voiture ordinaire; elles reposent sur deux essieux avec un assez grand porte-à-faux à l'avant et à l'arrière, par suite de la nécessité de réduire l'espacement des essieux pour le passage dans les courbes de petit rayon *(fig. 9, Pl. 227)*.

La voiture est à impériale couverte à 50 places (20 places d'intérieur, 6 de plate-forme et 24 d'impériale).

(1) La résistance moyenne à la traction sur la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes est de 17,65 *kg* par tonne et la dépense d'air par kilomètre-voiture, de 10,35 *kg*.
En admettant le poids de la voiture automotrice de 14 *t*, correspondant à la moitié des places occupées, le travail à la jante par kilomètre-voiture est de :

$$14 \times 17,65 \times 1\,000 = 247\,100 \ kgm.$$

Le travail à la jante par kilogramme d'air sera donc :

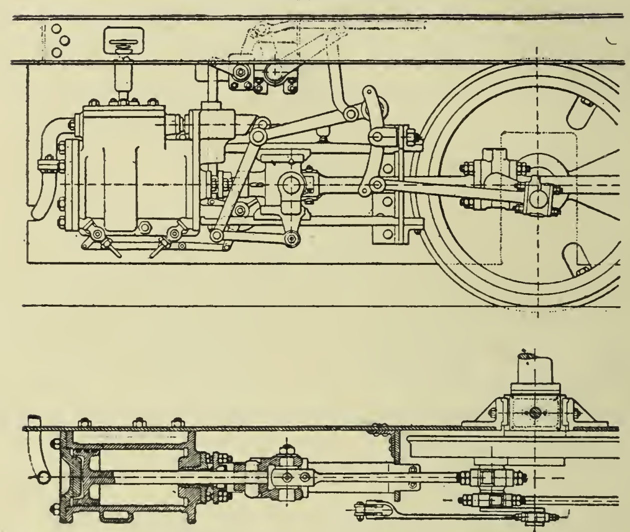
$$\frac{247\,100}{10,35} = 23\,874 \ kgm,$$

et dans les cylindres moteurs avec un rendement de 0,80 : $\frac{23\,874}{0,80} = 29\,842 \ kgm.$

Le poids se décompose comme suit :

Caisse	2 000	*kg*
Réservoirs et bouillotte	4 000	
Châssis et mécanisme	5 500	
Poids à vide.	11 500	*kg*
Air et eau	380	*kg*
50 voyageurs à 70 *kg*	3 500	
Poids en charge	15 380	*kg*

Fig. 27. Appareil moteur.



Les réservoirs d'air ont un volume total de 2,50 m^3, ce qui, à la pression de 60 *kg* correspond à un poids d'air de 187 *kg*.

La figure 27 montre la disposition d'un des cylindres moteurs des automotrices de Saint-Augustin. Ces cylindres au nombre de deux, placés à l'arrière des voitures et extérieurement aux longerons, ont un diamètre de 0,19 *m* et une course de 0,26 *m*. Les deux essieux sont accouplés et les roues ont un diamètre de 0,75 *m*. La Compagnie des Omnibus a mis à l'essai la distribution Bonnefond sur une de ses nouvelles automotrices.

Locomotives à air comprimé. — Avant de terminer, nous dirons quelques mots des *locomotives à air comprimé* en service sur la ligne Louvre-Versailles, de la Compagnie des Omnibus et sur celle d'Arpajon, dans l'intérieur de Paris *(fig. 10, Pl. 227)*.

Afin d'éviter les retournements aux points terminus, les appa-

reils de manœuvre sont doubles. Au lieu d'une seule bouillotte, comme sur les automotrices, le réchauffage de l'air s'obtient au moyen de deux réservoirs d'eau chaude placés horizontalement sous la plate-forme, ces deux réservoirs étant complémentaires l'un de l'autre.

Chacune de ces bouillottes communique avec le détendeur, placé sur la plate-forme, au moyen d'un tuyau vertical dont la partie supérieure, avant sa jonction avec le détendeur, se termine par une sorte de dôme.

Il y a huit réservoirs d'air placés longitudinalement, quatre de chaque côté et l'un au-dessus de l'autre. La pression dans ces réservoirs est de 80 *kg* et l'approvisionnement de 530 *kg* d'air.

Cette locomotive repose sur trois essieux couplés. Les cylindres moteurs sont extérieurs aux longerons. Elle pèse à vide 16 500 *kg* et en service 18 000 *kg*, également répartis sur les trois essieux.

La Compagnie générale des Omnibus, qui possède en service 21 automotrices Mékarski, a décidé d'augmenter le nombre de celles-ci en les améliorant au point de vue mécanique; 145 nouvelles voitures sont en construction actuellement dans divers ateliers et devront être mises en service en 1900 sur les nouvelles lignes à traction mécanique.

Autres systèmes. — A côté du système Mékarski, appliqué en France, à Nantes depuis 1879, sur les tramways Nogentais depuis 1887 et par la Compagnie générale des Omnibus depuis 1894, il convient de dire quelques mots de l'un des systèmes américains le plus employés.

L'American Power C° exploite à New-York le système H. Knight qui dérive du système Mékarski; l'exploitation se fait par 80 automotrices alimentées par des compresseurs Allis-Ingersoll de 1 000 *ch.* L'air comprimé à la pression de 180 *kg*, est emmagasiné dans des bouteilles en acier doux embouties; le poids du réservoir d'air est de 1 920 *kg*. L'air détendu passe dans un réchauffeur à eau chaude à 200°, d'où il sort et est utilisé à la pression de 22 *kg*, après avoir été humidifié dans un injecteur spécial. Les moteurs sont du type compound à tiroirs cylindriques; il y a un moteur par essieu, et le poids des deux moteurs est de 1 270 *kg*.

Les voitures pèsent 8,5 *t* et elles peuvent parcourir 25 *km* sans rechargement; leur fonctionnement est régulier et silencieux; leur dépense d'air ne dépasse pas 0,760 m^3 par voiture-kilomètre.

Enfin il convient de signaler également le système Popp-Conti,

dans lequel l'air n'est comprimé qu'à 25 ou 30 *kg*, qui a donné lieu à des essais, à Saint-Quentin, en 1898, et sur les tramways de Vincennes en 1899. Ce système se caractérise par le réchauffage de l'air au moyen d'un foyer à coke et la disposition des voitures dans lesquelles la commande se fait de chacune des plates-formes, ce qui évite les retournements.

D. — Tramways à gaz.

Le gaz d'éclairage, comme force motrice, pour la traction mécanique des tramways dans les villes, paraît tout indiqué. On peut, en effet, l'obtenir sans difficulté et l'amener aux différents points où l'alimentation des voitures doit se faire : il n'y a pas à établir de conduites maîtresses, puisque celles-ci existent déjà.

Il est facile de comprimer ce gaz à la pression de 10 à 20 *kg* et de l'emmagasiner dans des réservoirs de dimensions moyennes et d'une capacité suffisante pour le parcours ordinaire des voitures. Il n'y a aucune modification à faire à la voie existante des tramways; quelques bouches de chargement seules sont nécessaires.

Mais si l'emmagasinement de l'énergie motrice est facile, il n'en est plus tout à fait de même de son emploi. Les moteurs à gaz ont fait, dans ces dernières années, d'immenses progrès, soit au point de vue du rendement mécanique, soit au point de vue de la consommation par cheval. Grâce à l'augmentation de la compression dans le cylindre et à l'emploi des soupapes pour l'introduction du mélange gazeux ou pour son échappement, les moteurs à quatre temps arrivent aujourd'hui à ne dépenser que 5 à 600 *l* et même moins par cheval.

Mais, d'un autre côté, ces moteurs à quatre temps exigent certaines conditions qui ne sont pas toujours compatibles avec la marche des tramways, dont la vitesse est variable, suivant le tracé et le profil, et qui doivent pouvoir s'arrêter à différents endroits, soit fixes, soit arbitraires.

Pour obtenir une vitesse de rotation uniforme, le moteur à quatre temps exige un volant assez lourd, qui prend de la place.

Afin d'éviter l'augmentation du poids du moteur, il faut donner à celui-ci une grande vitesse et la maintenir aussi constante que possible. De là la nécessité de combinaisons cinématiques pour obtenir les variations de vitesses nécessaires aux tramways.

La difficulté de mise en marche des moteurs à quatre temps,

qu'on ne peut obtenir qu'en faisant tourner le volant à la main, oblige de laisser marcher le moteur pendant les arrêts. De là une consommation inutile de gaz et des trépidations souvent désagréables.

Comme les moteurs actuels ne peuvent marcher que dans un seul sens, il faut une seconde combinaison cinématique pour obtenir le renversement de marche. Enfin, le cylindre du moteur doit être constamment rafraîchi par un courant d'eau, ce qui nécessite l'installation sur la voiture d'un réservoir avec circulation d'eau.

L'appareil moteur ne sera donc plus aussi simple que le moteur à vapeur ou à air comprimé; c'est là le point faible des tramways à gaz.

Les moteurs récents à quatre temps à combustion et à compression très élevée (35 *kg*), du type Dièsel, permettront peut-être d'améliorer les moteurs à gaz, en rapprochant leur fonctionnement de celui des machines à vapeur ordinaires. Toutefois les essais de ces moteurs, très intéressants à tous les points de vue et qui ont fait grand bruit dans le monde technique, n'ont pas encore donné de résultats assez définitifs, ni assez concluants, pour considérer le problème comme résolu. Ces essais, du reste, n'ont été faits qu'avec des moteurs à pétrole, et il y a lieu d'attendre ceux qui se font, paraît-il, en ce moment sur des moteurs à gaz.

Divers systèmes de moteurs à gaz ont été essayés, mais nous ne décrirons succinctement que celui qui, dérivé du système Lührig et, modifié par la « Gaz Traction C° », a reçu ces temps derniers quelques applications.

La figure 7 *(Pl. 226)* représente l'ensemble du moteur et des engrenages reliant celui-ci avec les essieux. Le moteur en lui-même se compose de deux cylindres en tandem placés sur un des côtés de la voiture et sous une des banquettes. Le gaz est comprimé dans un des cylindres pendant qu'il est aspiré dans l'autre; on obtient ainsi une explosion par tour de volant, ce qui régularise la marche.

De l'autre côté et sous l'autre banquette se trouve le réservoir de gaz. Ce dernier, comprimé dans ce réservoir à 10 *kg*, se rend aux cylindres moteurs après avoir traversé un détenteur qui réduit la pression à 25 ou 30 *mm* d'eau ; un régulateur à boules, agissant sur la conduite, permet de régler l'admission du gaz dans le cylindre.

Les cylindres moteurs actionnent directement un arbre hori-

zontal sur lequel est monté le volant à une extrémité et un engrenage à l'autre extrémité. Cet engrenage commande un second arbre, parallèle au premier, sur lequel sont montées deux roues folles qu'on peut mettre en prise au moyen d'un embrayage mis à la disposition du mécanicien, et qui à leur tour actionnent des engrenages fixés sur un troisième arbre parallèle aux deux premiers. Comme ces roues ont des diamètres différents, on comprend que la machine motrice pourra donner à ce dernier arbre deux vitesses différentes, dépendant du diamètre de ces roues, la vitesse du moteur restant constante. Une chaîne de commande relie cet arbre aux essieux.

Un dernier arbre horizontal placé au-dessous des autres permet le renversement de la marche.

La transmission du mouvement est, comme on le voit, assez compliquée, mais sa manœuvre en elle-même est, cependant, assez simple. Deux leviers sont placés sur chacune des plates-formes; le premier sert au renversement de marche; le second agit sur l'embrayage et met en prise les engrenages destinés au changement de vitesse. En poussant vers la gauche ce levier, on obtient la vitesse de 6,5 *km* à l'heure, et en le poussant vers la droite, la vitesse maximum de 13 *km* à l'heure.

Le remplissage des réservoirs des voitures se fait, soit aux points terminus, soit à des points déterminés. A ces différents points sont installés de petits bâtiments contenant un moteur à gaz actionnant un compresseur refoulant le gaz dans les réservoirs. Ces réservoirs sont reliés avec les bouches de rechargement au moyen d'une tuyauterie et un tuyau flexible, vissé sur les bouches de rechargement et aboutissant aux réservoirs des voitures, permet leur remplissage.

On a constaté que la quantité de gaz nécessaire pour la mise en marche de ces machines de compression, correspond assez exactement au dixième du gaz employé par les moteurs des voitures.

Les premières applications sérieuses du gaz à la traction des tramways datent de 1893, époque à laquelle a été mis en service le tramway de Dresde, avec les premiers moteurs étudiés par Lührig. En 1894 furent installés, suivant le même système, les tramways de Dessau.

Puis en 1896, la « Gaz Traction C° », concessionnaire des brevets Lührig, installa le tramway à traction par le gaz de Blackpool, Saint-Ann et Lytham. Ce tramway de 12,5 *km* de longueur

est exploité au moyen de 10 automotrices à impériale de 52 places *(fig. 8, Pl. 227)*. Le moteur *(fig. 7, Pl. 226)* est de 14 *ch*. La consommation du gaz est de 620 *l* par kilomètre-voiture, et le prix à forfait pour la traction est de 0,31 *f* par kilomètre-voiture, y compris les frais de conduite et de nettoyage. Le gaz, fourni par les usines à gaz de Blackpool et de Lytham, est payé 0,10 *f* le mètre cube. Les réservoirs ont une capacité suffisante pour un parcours de 16 à 19 *km;* le gaz est comprimé dans les réservoirs à la pression de 10,3 *kg*.

En 1898, la « Gaz Traction C° » a installé à Manchester, avec des voitures et des appareils moteurs semblables aux précédents, la ligne de 5,5 *km* qui relie Stratford à Boston. Elle s'occupe également d'une installation semblable pour la municipalité de Neath, dans le pays de Galles. Des essais se poursuivent actuellement avec le même système de moteur à La Haye.

A côté d'avantages sérieux, les tramways à gaz présentent encore des inconvénients tels qu'ils ne semblent pas, en l'état actuel de la question, appelés à un prochain avenir. Il nous a semblé, cependant, indispensable de signaler les tentatives industrielles très intéressantes faites avec ce nouveau mode de traction.

3e Classe.

Véhicules récepteurs d'énergie.

Cette classe comprend deux systèmes de tramways :

1° Les tramways à distribution électrique où l'énergie est amenée de l'usine centrale aux véhicules au moyen d'une canalisation ;

2° Les tramways funiculaires où la force mécanique, nécessaire à la propulsion des voitures, est amenée à celles-ci au moyen d'un câble sans fin mis en mouvement par une machine installée à l'usine centrale.

Le premier système se divise lui-même en plusieurs sous-divisions, suivant le mode de canalisation adopté :

Canalisation aérienne avec trolley,
— par conducteurs installés dans un caniveau souterrain,
— avec contacts au niveau du sol et servant de prise de courant.

Nous examinerons brièvement ces différents systèmes en y

ajoutant quelques renseignements succincts sur le transport de l'énergie électrique, sur l'emploi des courants polyphasés et. enfin, sur les usines génératrices.

Tramways à distribution électrique.

Avec le système de traction électrique par conducteurs extérieurs, l'énergie est produite dans une usine centrale. Le courant est ensuite envoyé aux voitures par un fil, soit aérien, soit souterrain, soit par contact au niveau du sol. On peut également combiner ces différents modes de transport d'énergie, et former ainsi un système de traction mixte.

Le courant revient ensuite à la dynamo génératrice de l'usine, soit par un second fil parallèle au premier, comme c'est le cas avec les caniveaux souterrains, soit, plus généralement, par les rails de la voie.

Nous avons à examiner brièvement ces différents systèmes et à en montrer les applications récentes. Mais, comme précédemment (voir page 784), à propos de la traction par accumulateurs, nous nous sommes occupés des moteurs de traction, de leur régulation, ainsi que des voitures, nous ne parlerons ici que des autres parties constituantes de l'installation, telles que les conducteurs, le mode de prise de courant sur ceux-ci et le retour de ce dernier à la dynamo génératrice, soit par un fil spécial, soit par le rail.

I. — Conducteurs aériens.

Conducteurs du courant. — Par suite de la grande résistance du fer, ce métal n'est pas employé pour les conducteurs aériens. On les fait généralement en cuivre, mais comme celui-ci n'a qu'une résistance à la traction relativement faible, on emploie souvent le bronze phosphoreux qui, sans diminution importante de conductibilité électrique, possède une plus grande résistance à la traction.

Ces fils ont un diamètre de 8 à 9 *mm*. Lorsqu'il s'agit de courants alternatifs, on fait usage de conducteurs de plus faible section. Les différentes sections de fils qui composent la ligne sont jonctionnées entre elles par différents moyens, mais le plus généralement à l'aide d'une soudure, qui a remplacé l'ancien mode par épissure qui formait des bourrelets nuisibles au bon fonctionnement du trolley.

Dans le cas d'une ligne d'une trop grande longueur, exigeant,

par conséquent, une section de fil trop considérable, on se sert de feeders d'alimentation qui, partant de la génératrice, relient celle-ci à différents points du réseau. Ces feeders, dont la section est calculée en conséquence, sont placés, soit extérieurement sur des supports, soit, le plus souvent, dans des caniveaux souterrains.

Une question très importante est celle relative à l'isolement de ces conducteurs. On l'obtient en les supportant au moyen d'isolateurs dont le type est variable, mais dont le principe est toujours le même : une cloche en porcelaine comme isolant. Lorsqu'il s'agit de courants à haute tension, dans le cas de transport d'énergie, on fait usage d'isolateurs également en porcelaine, mais avec réservoirs d'huile augmentant cet isolement.

Les fils aériens sont supportés, dans le sens de la longueur, tous les 35 ou 40 *m*, et le mode de suspension varie suivant la disposition des voies parcourues.

Elle peut se faire, dans les rues étroites, au moyen de haubans transversaux fixés aux murs des maisons avoisinantes. Ces fils transversaux en acier, de 5 à 6 *mm* de diamètre, supportent vers leur milieu l'isolateur auquel est attaché le fil conducteur. Ces haubans sont fixés au mur par des agrafes isolantes, munies de rondelles en caoutchouc destinées à éviter les vibrations.

Lorsque les rues sont plus larges, ces haubans transversaux, au lieu de s'appuyer sur les murs, reposent sur des colonnes placées latéralement à la voie et sur le trottoir. Dans ce cas, le mode d'attache et d'isolement est le même que dans le cas précédent.

Lorsqu'enfin on a à parcourir des artères larges, on se sert de poteaux-consoles de dispositions variables. Nous signalerons le type employé tout récemment pour les tramways de Bastille-Charenton. Des colonnes, espacées de 40 *m*, sont installées sur de petits refuges placés dans l'entrevoie. Le conducteur aérien, fixé à l'isolateur, est supporté par une petite pièce de fonte qui présente, dans le sens perpendiculaire à la direction de ce conducteur, deux oreilles auxquelles sont fixés de petits câbles de suspension reliant le tout aux points d'attache de la colonne. Ces mêmes consoles servent à l'éclairage de la voie publique.

Lorsque, sur le parcours, on rencontre des courbes de faible rayon, on se trouve dans la nécessité d'employer des dispositions spéciales pour le support des conducteurs dans ces courbes. Ces dispositions sont variables et dépendent des circonstances locales et du mode de prise de courant.

Prise de courant. — Cette prise de courant se fait au moyen d'un appareil fixé sur la toiture de la voiture et qui porte le nom de *trolley;* il y a deux sortes de trolley : celui à roue et celui à frottement.

Avec le premier, la prise de courant se fait par l'intermédiaire d'une roulette en bronze de 0,10 *m* à 0,15 *m* de diamètre, munie d'une gorge. Des ressorts longitudinaux et horizontaux agissent à l'extrémité inférieure de la tige en fer qui supporte la roulette, forçant celle-ci à appuyer sur le fil aérien.

Tout l'appareil est monté sur un axe vertical, fixé sur la toiture de la voiture, permettant le retournement du trolley aux points terminus ; un faible déplacement latéral est également possible. C'est par cet axe vertical que le courant pénètre dans la voiture pour être envoyé aux moteurs, par l'intermédiaire du régulateur.

Comme on le voit, cette disposition oblige à placer le fil conducteur dans l'axe de la voie ou, au moins, à une très faible distance de celui-ci. C'est un inconvénient dans beaucoup de circonstances.

Le trolley Dickinson, employé pour la première fois en Angleterre sur le réseau de tramways du South Staffordshire et appliqué depuis à un assez grand nombre de réseaux européens, évite cet inconvénient. Avec cette disposition, la tige qui supporte la roulette peut prendre, dans le sens horizontal, toutes les inclinaisons possibles par rapport à la voie. Quant à la roulette de prise de courant, elle peut également prendre un mouvement de rotation autour d'un axe perpendiculaire à son axe de rotation. La voiture peut donc ainsi occuper, par rapport au fil aérien, différentes positions qui ne sont limitées que par la projection horizontale de la tige inclinée du trolley.

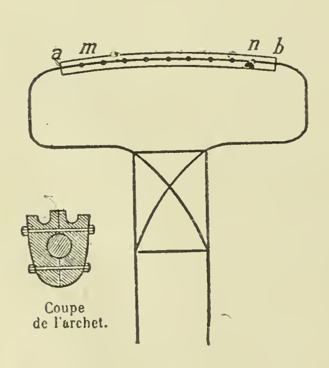


Fig. 28. Archet.

Le trolley à frottement est représenté par le système dit « à archet », imaginé, il y a quelques années, par Sprague et repris, dans ces derniers temps, par Siemens et Halske en Europe. Il y a actuellement un certain nombre d'applications. L'archet a la forme représentée figure 28. La partie du fil *ab* qui limite l'étendue de prise de courant est

enveloppée d'une gaine en aluminium qui, s'usant plus rapidement que le fil aérien, évite l'usure trop rapide de ce dernier et peut, du reste, se remplacer facilement.

L'archet, comme le trolley ordinaire, est muni de ressorts horizontaux qui permettent de faire varier son inclinaison dans le sens longitudinal de la voiture. De plus, par suite de la largeur de 1,50 *m* de l'archet, c'est-à-dire 0,75 *m* de chaque côté de l'axe, le fil aérien peut former des côtés de polygone beaucoup plus longs, ce qui diminue le nombre de poteaux de support.

Retour du courant. — Le retour du courant se fait le plus généralement par les rails. Dans ce cas, une condition essentielle est une conductibilité électrique aussi parfaite que possible sur tout le parcours, et surtout aux joints.

Il faut éviter les corrosions électrolytiques qui peuvent se produire sous l'influence de ce courant de retour et, pour cela, limiter à 5 volts, comme l'exige, du reste, le règlement français (7 volts en Angleterre), la perte de potentiel dans ce conducteur de retour. La section du rail doit donc être calculée en conséquence.

Quant à la continuité électrique aux joints, divers procédés ont été employés et, parmi ceux-ci, un des plus répandus est le « Rail bond Chicago », où les extrémités des fils de cuivre qui relient les deux rails sont terminées par une tête creuse à l'intérieur de laquelle on fait pénétrer de force un rivet de forme conique qui assure le contact du fil entre le rail et la tête creuse.

La meilleure solution de la question est évidemment la réunion de tous les rails en une seule barre, en les soudant les uns aux autres, bout à bout. Mais on a craint jusqu'ici la déformation de la voie, par suite des dilatations dues aux changements de température.

Des essais faits en Amérique ont montré que cette crainte était exagérée, lorsqu'il s'agit de voies où les rails, enfoncés dans la chaussée, prennent la température moyenne de celle-ci et ne subissent pas les variations extérieures, comme les voies de chemins de fer.

Deux genres de soudures ont été expérimentées : la soudure électrique et la soudure à la fonte. C'est cette dernière qui paraît aujourd'hui donner les meilleurs résultats, soit techniques, soit économiques. Ce procédé consiste à réunir les deux extrémités des rails par une coulée de fonte.

Il a été appliqué depuis 1896, par la Falk Manufacturing C°, dans beaucoup de villes américaines, notamment à Chicago. En France, on en a fait usage, notamment à Lyon et sur les lignes de la Compagnie générale parisienne de Tramways (Bastille-Charenton, Étoile-Gare Montparnasse, etc.).

II. — Caniveaux et conducteurs souterrains.

Lorsque les rues d'une ville sont sinueuses et étroites, l'installation des fils aériens présente souvent des difficultés. Par suite de considérations esthétiques, les municipalités s'opposent souvent aussi à leur établissement, surtout dans les grandes artères traversant les quartiers riches de certaines grandes villes; à Paris, en particulier, ce système est proscrit.

Il faut alors, dans ce cas, avoir recours aux fils conducteurs installés dans un caniveau souterrain.

Cette disposition a l'avantage de permettre l'emploi de fils conducteurs de plus grande section et, par suite, de moins grande résistance ; elle permet aussi l'emploi d'un fil de retour de courant placé dans le caniveau parallèlement au fil d'amener; on supprime ainsi les effets électrolytiques qui peuvent se produire, lorsque c'est le rail qui sert de conducteur de retour. Enfin, lorsqu'il y a lieu de se servir de feeders d'alimentation, ceux-ci trouvent facilement leur place dans le caniveau.

Mais, d'un autre côté, ces caniveaux entraînent des dépenses supplémentaires de premier établissement assez élevées, surtout lorsqu'il y a lieu à modification des réseaux de conduites d'eau et de gaz. Le caniveau doit être indéformable et l'ouverture de la rainure, servant au passage de l'appareil de prise de courant, doit rester constante, quelles que soient les charges circulant sur les chaussées et les pressions latérales produites par le pavage, sous l'influence des modifications de température. On doit pouvoir le visiter et le nettoyer facilement et les eaux de pluie doivent pouvoir être évacuées aisément. L'isolement des fils conducteurs doit être aussi parfait que possible ,et on doit pouvoir les remplacer sans difficulté.

Depuis l'installation du tramway de Blackpool, en 1885, où le système de conducteur et de caniveau souterrain a été appliqué, croyons-nous, pour la première fois, on a étudié de nombreuses dispositions de caniveaux qui peuvent se ramener à deux types principaux.

Dans le premier, le caniveau est placé au-dessous d'une des files de rails, comme à Budapest à Bruxelles, et au tramway qui vient d'être installé à Berlin par Siemens et Halske, ainsi qu'au tramway en construction de la place de l'Étoile à la gare Montparnasse (Compagnie générale parisienne de Tramways).

Dans le second, le caniveau est placé dans l'axe de la voie, comme à Paris (ligne Bastille-Charenton), à Lyon, à Blackpool, à Washington et à New-York (1).

Dans le premier cas, les rails formant la rainure du caniveau latéral résistent difficilement aux déformations résultant du passage des lourds véhicules circulant sur la chaussée, ou dues à la poussée du pavage en bois : il faut les relier fortement aux chaises du caniveau. De plus ils exigent une large rainure aux pointes d'aiguilles, ce qui est un inconvénient. Dans le second cas, on augmente la difficulté opposée par la voie de tramway à la circulation des voitures, puisqu'on crée un troisième obstacle. D'un autre côté la rainure aux aiguilles peut conserver une largeur convenable.

L'expérience seule permettra de décider lequel des deux systèmes est le plus avantageux, au point de vue pratique.

Il nous serait impossible de décrire, même sommairement, les différents types de caniveaux étudiés depuis celui de Blackpool, en 1885. Nous nous contenterons de parler brièvement de celui qui a été installé l'année dernière par la Compagnie Thomson-Houston sur la ligne de tramway de Bastille-Charenton, de la Compagnie générale parisienne de Tramways.

Le caniveau se compose de chaises en fonte, espacées d'axe en axe de 1,40 *m*, sur lesquelles sont fixés, au moyen de boulons, les rails de la voie et ceux des rainures en forme de Z. Des tirants inclinés relient ces derniers aux extrémités des chaises et s'opposent ainsi au rétrécissement de la rainure. Un massif de béton remplit l'intervalle entre les chaises qui, elles-mêmes, sont noyées dans ce massif. Le caniveau, de forme en fer à cheval, a 0,50 *m* de hauteur et 0,46 *m* dans sa plus grande largeur.

Les deux fils conducteurs, formés de rails T sur la surface desquels frotte l'appareil de prise de courant, sont espacés de 0,150 *m* dans le sens transversal et sont symétriquement placés par rapport à l'axe du caniveau. Ces conducteurs sont supportés tous les

(1) La Compagnie métropolitaine de New-York dessert 132,2 *km* de voies munies de caniveau souterrain, en partie provenant d'anciennes lignes funiculaires transformées.

4,20 *m* par des isolateurs en porcelaine encastrés dans une boîte en fonte fixée au-dessous du rail de rainure. Une petite fosse est disposée pour permettre leur installation et une trappe, ménagée dans le pavage, permet d'en faire la visite. De plus grandes fosses, disposées tous les 33,60 *m*, facilitent la visite et le nettoyage du caniveau.

A Berlin *(fig. 8, Pl. 226)*, où le caniveau est placé au-dessous d'une des files de rails, la disposition de celui-ci présente beaucoup d'analogie avec celui que nous venons de décrire, tout en différant, cependant, au point de vue de certains détails, notamment en ce qui concerne les rails de rainure. Ceux-ci sont formés de deux rails à patin dont l'un, extérieur, sert de surface de roulement, le boudin de la roue pénétrant dans la rainure.

C'est un système analogue qui a été adopté par la Compagnie générale parisienne de Tramways pour sa ligne l'Étoile-Gare Montparnasse qui desservira l'Exposition de 1900. Le caniveau est semblable à celui de la ligne Bastille-Charenton, mais il est placé sous chaque rail intérieur de la voie, afin de ne pas créer, par une troisième rainure, de nouveaux obstacles à la circulation des voitures. De plus, afin d'éviter l'inconvénient de la large rainure que nécessite cette disposition, on ramène, à chaque aiguillage, le caniveau dans l'axe de la voie. L'appareil qui, sur la voiture, supporte la tige de prise de courant est disposé pour permettre ce changement de position de la tige, sans arrêt de la voiture.

III. — Distributeurs de courant au niveau du sol.

Ce mode de traction est une sorte d'intermédiaire entre celui par trolley et celui par conducteurs et caniveaux souterrains. Il évite les sujétions, souvent très gênantes, du conducteur aérien dans l'intérieur de certaines villes. Il peut diminuer, dans une certaine mesure, les dépenses quelquefois assez élevées que nécessite l'établissement du caniveau souterrain; mais il ne le fait pas, cependant, complètement disparaître, puisque lui aussi a besoin de conducteurs souterrains assez nombreux exigeant pour leur installation certaines sujétions.

De plus, il pourrait devenir dangereux pour le public, si les contacts servant de prise de courant au niveau du sol restaient constamment en communication avec la source d'électricité et n'étaient pas déchargés aussitôt après le passage de la voiture.

Un certain nombre d'accidents survènus sur la ligne de Romainville sont dus à cette cause.

Les lignes installées suivant ce mode de traction sont encore très peu nombreuses: il est donc difficile de se faire une opinion bien exacte sur la valeur économique de ce système, comparativement aux deux autres.

Deux systèmes principaux représentent ce mode de traction. L'un, dû à MM. Claret-Vuillemier et appliqué à Paris, l'autre, dû à M. Diatto et installé tout dernièrement à Tours. Nous les décrirons succinctement.

A. — *Système Claret-Vuilleumier.*

La première ligne construite suivant ce système est celle installée à Lyon, en 1894, par MM. Claret-Vuilleumier, sur une longueur de 3 200 *m*.

La seconde a été construite en 1896 et relie la place de la République avec Romainville. C'est de cette dernière ligne que nous allons dire quelques mots.

L'espace nous manque pour décrire complètement les différents appareils que nécessite son installation. Ils ont, du reste, été déjà publiés avec détails dans divers ouvrages techniques et dans différentes revues. Nous nous contenterons donc d'indiquer le principe du système.

La ligne a une longueur totale de 6 946 *m*, divisée en deux parties; l'une de 4 *km* environ, à double voie, de la place de la République à la porte de Romainville; l'autre de 3 *km* environ, avec garages, entre la porte de Romainville et Romainville.

La différence de niveau de 87,37 *m* entre la place de la République et le point culminant, près des Lilas, est rachetée par différentes rampes atteignant un maximum de 46 *mm* par mètre dans l'avenue Gambetta, le long des murs du cimetière du Père-Lachaise.

L'usine centrale et le dépôt où sont installées les dynamos génératrices du courant est établie aux Lilas, aux deux tiers du parcours.

Ces dynamos sont du type Huguet-Hillairet à quatre pôles hypercompoundées et doivent fournir chacune 280 ampères sous 530 volts, soit 150 kilowatts. Elles sont actionnées par des machines à vapeur, type Corliss, à condensation.

Ces génératrices envoient le courant dans un feeder, servant de conducteur principal et de 300 mm^2 de section, placé souter-

rainement et parallèlement à la voie dans un caniveau. A des distances régulières et également réparties le long de la ligné (95 *m*), on a installé, sur ce conducteur principal, une série de branchements qui, à leur tour, envoient le courant à mesure de l'avancement de la voiture, dans une série de pavés métalliques appelés *plots*, placés à égale distance (2,50 *m*) au milieu de chaque voie. Ce sont ces plots qui amènent le courant des dynamos aux moteurs de la voiture et lui donnent sa force de propulsion. Mais, pour éviter les graves inconvénients que nous avons signalés plus haut, ces plots ne doivent recevoir le courant qu'au moment où la voiture passe au-dessus d'eux et ce courant doit être interrompu aussitôt après son passage. C'est un appareil spécial, appelé *distributeur*, placé au point de jonction des branchements avec le conducteur principal qui est destinê à remplir ce but.

Un frotteur, installé sous la voiture et dont la longueur est telle qu'il touche le plot suivant avant d'avoir quitté le précédent (condition indispensable pour le fonctionnement du distributeur), vient appuyer sur ces pavés métalliques. Ce frotteur sert de prise au courant, qui est amené aux moteurs de la voiture, pour faire ensuite retour à la dynamo génératrice par les rails.

C'est dans le distributeur et dans le frotteur, dont le but est de lancer le courant au moment voulu dans les plots pour l'interrompre ensuite, que réside la partie vraiment originale du système.

Par suite d'incidents pouvant se produire accidentellement pendant la marche, tels que retard du distributeur sur la marche du frotteur, il peut arriver que les plots restent en communication avec la conduite principale de distribution après le passage de la voiture. Tout contact avec lui serait la cause d'accidents graves et que nous avons indiqués précédemment. Pour les éviter, on a installé, sous chaque voiture, un appareil de sûreté qui a pour but de décharger le plot en coupant la communication du câble de distribution du courant avec la voie, dans le cas de dérangement du distributeur.

Toute section comprise entre deux distributeurs ne peut recevoir qu'une seule voiture à la fois. Or ces distributeurs étant espacés de 95 *m*, l'espacement minimum des voitures sera donc de 95 *m*. A la suite d'encombrements et d'arrêts momentanés dans les artères très fréquentées, ceci peut être un inconvénient.

Les voitures contenant 52 places, pèsent, en charge, 13 *t*. Elles sont à deux essieux actionnés chacun par une dynamo à simple réduction, d'une puissance maximum de 30 *ch*. La régulation se fait par la méthode série-parallèle.

B. — *Système Westinghouse.*

Ce système comporte deux lignes parallèles de « plots » placées dans la voie entre les rails ; ces plots sont à intervalle régulier et en face l'un de l'autre. Chaque groupe de plots est en communication électrique avec un distributeur placé sous le trottoir ou dans l'entrevoie.

Deux frotteurs, placés sous la voiture, appuient sur ces plots. L'un de ces frotteurs est relié au pôle positif d'un accumulateur placé dans la voiture, le pôle négatif étant relié au rail de la voie. Le second frotteur est relié au moteur, par l'intermédiaire du contrôleur de la voiture.

De son côté, le distributeur est constitué d'un électro-aimant qui peut attirer une armature munie de contacts au charbon. Cet électro-aimant est entouré de deux fils reliés chacun d'un côté à un des plots et de l'autre mis à la terre.

Quant à l'armature, elle est en communication avec le feeder qui, partant de l'usine centrale, distribue le courant sur toute la ligne et, par conséquent, à tous les distributeurs.

Lorsqu'un des frotteurs de la voiture passe sur un des plots, le courant de l'accumulateur va aimanter l'électro-aimant du distributeur qui, alors, attire l'armature et par les contacts au charbon, envoie le courant du feeder dans le second plot de la voie et, par suite, au moteur qu'il actionne. La voiture avançant, les frotteurs, avant de quitter les deux plots, sont venus en contact avec les suivants ; le même effet se reproduit et la voiture continue à avancer.

Lorsque le frotteur a abandonné les deux premiers plots, l'électro-aimant cesse d'être aimanté et un ressort fixé à l'armature du distributeur, éloigne celle-ci des contacts en charbon et supprime toute communication avec le feeder d'alimentation.

Cette disposition, quoique plus simple que celle employée par Claret-Vuilleumier et qui, de plus, a l'avantage de donner toute indépendance aux voitures, comporte cependant, un grand nombre de plots qui seraient d'une application bien difficile dans les villes où la circulation est un peu active.

C. — *Système Diatto.*

Un nouveau système de traction électrique par contact superficiel, et qui porte le nom de son inventeur, « système Diatto », vient d'être installé, à Tours, par la Compagnie Générale Française de Tramways. Il fonctionne depuis le 1er avril 1899 (1).

Nous le décrirons avec quelques détails, car on vient de décider son application sur plusieurs lignes de pénétration actuellement en construction.

Le courant produit par l'usine génératrice est canalisé le long des voies, équipées électriquement, dans des feeders à câbles armés enfoncés dans le sol. De 5 *m* en 5 *m*, une prise de courant sur le feeder aboutit par un conducteur secondaire à une boîte métallique située dans l'axe de la voie et arasant le sol au niveau des pavés ordinaires.

A l'état normal, le courant est coupé dans ce pavé métallique, et la circulation des piétons et des voitures à chevaux, au niveau la chaussée, peut se faire sans inconvénient.

Au contraire, quand une voiture de tramway, équipée électriquement, vient à toucher le pavé, au moyen d'une barre flexible qu'elle porte suspendue à sa caisse, les parties mobiles situées à l'intérieur du pavé métallique entrent en jeu pour supprimer la solution de continuité qui existe normalement dans l'adduction du courant. Le courant venant de l'usine génératrice par le feeder, atteint alors la barre inférieure de la voiture, gagne le moteur et revient à l'usine par les rails de roulement; autrement dit, le circuit se trouve fermé par l'intermédiaire du pavé et de la voiture, et le moteur se trouvant alimenté par le courant de l'usine génératrice, la voiture est mise en mouvement.

La barre inférieure vient alors toucher un autre pavé par lequel le moteur continue à s'alimenter, avant que le pavé précédent ait été lâché. Dès que ce dernier n'est plus en contact avec la barre de la voiture, le courant s'y trouve automatiquement coupé et il devient inactif, tant qu'il ne sera pas atteint par la voiture suivante et ainsi de suite.

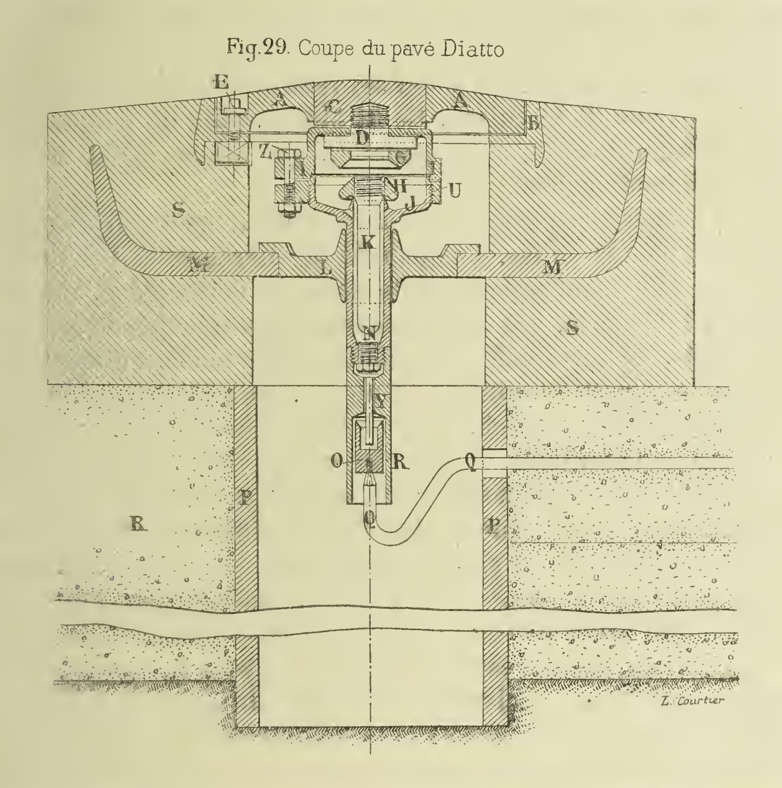
(1) Les premiers essais de ce système ont été faits à Turin, en 1895, puis à Lyon, vers la fin de 1898, sur une ligne de démonstration de 300 *m* de longueur et sur laquelle on avait réuni toutes les difficultés qu'on peut rencontrer dans la pratique. Les essais de Lyon ont duré deux ans.

Ces considérations générales exposées, nous allons examiner la structure et le mode de fonctionnement du pavé métallique qui forme la base du système.

Contact superficiel Diatto (fig. 29). — La boite de contact est enfoncée dans le sol et affleure la chaussée. Cette boite est bombée à sa partie supérieure, de telle façon que son centre se trouve à 26 *mm* au-dessus du niveau général de la chaussée.

Le bloc S formant la masse de la boite est en asphalte; le mi-

Fig.29. Coupe du pavé Diatto



lieu en est évidé et communique directement avec le sol par un tuyau en grès P.

Les boites, ainsi que la voie elle-même, sont posées sur un radier en béton. Dans l'entre-rail, les pavés sont posés à bain de mortier, et leurs joints sont garnis à la partie supérieure avec de l'asphalte, de façon à éviter dans l'entre-rail les eaux stagnantes qui pourraient se corrompre et occasionner de mauvaises odeurs.

La boite en asphalte présente un vide intérieur fermé par un

tampon amovible A de métal antimagnétique très résistant, qui porte en son milieu un axe en fer doux C. Ce tampon A repose sur une couronne en bronze B, noyée dans la masse, et sur laquelle il est fixé par trois boulons E à tête carrée.

Une pièce de fonte M, de grande perméabilité magnétique, est encastrée dans la masse de la boîte et supporte une traverse de fonte L dont le milieu, en forme de douille, livre passage à la queue J d'un godet en ébonite contenant du mercure. Les extrémités de la pièce M sont terminées par des ailettes qui se relèvent verticalement, tout en restant noyées dans l'ensemble de la boîte.

A la partie inférieure du godet est vissé un bouchon de cuivre N terminé par un fil de cuivre. Ce fil plonge dans un peu de mercure contenu dans un autre godet O, qui est en métal et relié au fil d'amenée courant Q.

Dans le mercure placé au fond du premier godet en ébonite J plonge le clou K en fer. La quantité de mercure et les dimensions du clou sont telles que le poids de cette pièce, dans sa position inférieure, est sensiblement équilibrée par la poussée du liquide, de sorte qu'au moment de l'action de l'aimant une très faible attraction suffit à le soulever. La partie supérieure du clou porte une tête en charbon H, très robuste et très conductrice. L'axe de fer doux C, situé au centre du tampon A, reçoit en son milieu un bouchon à vis D, qui porte un bloc G en charbon de même qualité que la tête du clou. Une cloche en laiton I est fixée au tampon A par ce bouchon D, et cette cloche supporte par trois boulons Z le godet en ébonite par l'intermédiaire d'une bride assurant un joint parfaitement étanche.

Le godet en ébonite est prolongé par un tube R, également en ébonite, qui forme cloche à air étanche, de sorte que si, accidentellement, la boîte venait à se remplir d'eau, l'air contenu dans le tube se comprimerait légèrement et y empêcherait l'ascension de l'eau.

On réalise ainsi l'étanchéité parfaite de tous les contacts de l'appareil.

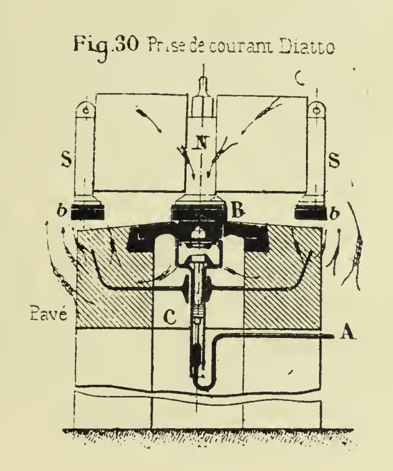
Système aimanté d'adduction du courant, placé à la partie inférieure de la voiture (fig. 30). — Le système aimanté se compose de trois barres : une barre centrale B et deux barres latérales *b*, *b*, entre lesquelles sont montés une série d'électro-aimants horizontaux, disposés de façon à communiquer la polarité nord à la barre du

milieu et la polarité sud aux deux barres extrêmes (voir aussi *fig. 29)*.

Le champ magnétique se trouve fermé comme l'indiquent les flèches; le clou est attiré et sa tête H vient former contact avec la couronne G en graphite, Le courant venant du feeder monte alors par la barre centrale B pour atteindre le moteur de la voiture.

Chacun des électro-aimants du système aimanté de la voiture porte deux enroulements distincts et de même sens qui, par suite, permettent de les exciter de deux façons différentes. En marche normale, ils sont excités par le courant principal, qui circule dans l'un des enroulements. Mais, pour développer le courant nécessaire à leur excitation au moment où la voiture doit être mise en marche pour la première fois, ou dans le cas où le courant principal est coupé, on a placé sous les sièges des voitures une petite batterie d'accumulateurs qui développe le courant voulu dans le second enroulement. Cette batterie débite 5 à 6 ampères sous une tension de 30 à 32 volts. Elle est très peu encombrante et assez légère pour que son poids ne charge pas les voitures d'une façon appréciable; comme le travail qu'elle doit produire est insignifiant, son usure est des plus minime et son entretien peut être considéré comme négligeable.

Fig. 30 Prise de courant Diatto



Au moment du démarrage, c'est donc le courant provenant de la petite batterie qui actionne les électros et qui produit le soulèvement initial du clou; mais, dès que celui-ci arrive au contact du charbon de la paroi supérieure du pavé, le circuit de la ligne électrique se ferme sur les moteurs, et c'est le courant principal qui, excitant alors les électros, provoque une attraction d'autant plus forte que le courant demandé par la voiture est lui-même plus intense. Il en résulte, entre les surfaces des charbons, une pression croissant avec l'intensité du courant, condition essentiellement favorable à la perfection du contact et exempte de chance de collage.

La tête du clou est en effet constituée, comme nous l'avons

indiqué, par un tronc de cône en charbon graphitique très pur, parfaitement homogène, extrêmement dur, que l'on peut travailler au tour, et qui est susceptible de prendre un beau poli. La paroi supérieure du pavé est munie intérieurement d'une cuvette en même charbon, creusée en forme de cône dont l'angle est égal à celui de la tête du clou, de sorte que les deux pièces s'emboîtent parfaitement l'une dans l'autre et que l'on obtient un contact irréprochable.

Les charbons étant très purs, ne se collent pas au moment du passage du courant; on évite, d'ailleurs, tout arc permanent et même toute étincelle de rupture, susceptible de détériorer les charbons, par un artifice spécial. L'arrière du barreau *est relevé*, de sorte qu'au moment où son contact cesse avec les pavés, le flux magnétique persiste en s'affaiblissant progressivement et, maintient le clou soulevé, pendant un temps très court, lorsque le courant ne passe plus. Il s'ensuit qu'au moment de la chute du clou, le courant est déjà coupé et il ne peut se produire ni arc ni étincelle entre les charbons; il y a donc tout lieu de croire que leur surface, même après un long usage, restera presque aussi polie qu'au début.

D'autre part, la distance ménagée entre le fer de l'axe C du tampon du pavé et la face supérieure du clou est égale à plusieurs millimètres au moment du contact; il en résulte que si ces pièces étaient encore aimantées par un peu de magnétisme rémanent, elles ne resteraient pas adhérentes après le passage du barreau, l'action du magnétisme rémanent étant pour ainsi dire nulle lorsqu'il n'y a pas de contact immédiat entre les pièces de fer.

La position respective des masses magnétiques dans le barreau et les pavés permet d'obtenir un circuit magnétique presque fermé à travers le fer et la fonte répartis dans l'ensemble; on diminue ainsi les fuites magnétiques; on utilise aussi bien que possible le flux qui provoque le soulèvement du clou, et on réduit, par suite, au minimum le courant nécessaire au fonctionnement de l'appareil.

L'expérience a pleinement confirmé ces vues théoriques; le clou est toujours vivement appelé vers la paroi supérieure des pavés, quelles que soient la position du barreau et les circonstances dans lesquelles il agit.

Le courant de la petite batterie n'est coupé aux arrêts que pendant le jour, tandis que la nuit le circuit de cette batterie

reste fermé, de manière que le clou étant toujours attiré, la voiture arrêtée ne soit pas privée de lumière. Si le clou retombait un seul instant, les voyageurs seraient, en effet, plongés dans l'obscurité.

Dispositif de sécurité. — Bien que le collage du clou sur sa couronne, après le passage de la voiture sur une boîte de contact, ne soit pas à craindre, en raison des dispositions prises, on emploie, cependant, un dispositif de sécurité qui supprime tout danger pour la circulation routière, si le fait venait à se produire.

A l'arrière de la voiture on a établi un frotteur qui glisse sur le pavé de contact quand il a été quitté par la barre d'adduction du courant. Si, au moment où ce frotteur passe sur le pavé, le clou est retombé dans son logement, rétablissant la solution de continuité du courant, ce qui doit toujours se produire, le contact de ce frotteur avec le pavé ne produit aucun effet. Au contraire, si le clou était resté collé, le courant passerait dans le frotteur de la voiture pour aller aux rails, il y aurait court circuit et le disjoncteur de l'usine fonctionnerait, supprimant l'envoi du courant dans toute la ligne, et toutes les voitures s'arrêteraient. En particulier, le conducteur de celle qui viendrait de quitter la boîte de contact en mauvais état de fonctionnement serait averti par une sonnerie spéciale.

Ce conducteur, ainsi prévenu, doit supprimer le court circuit pour permettre à l'usine de ramener le disjoncteur dans sa position normale et de renvoyer le courant sur la ligne ; il doit ensuite rechercher le pavé défectueux au moyen d'un conducteur isolé : l'étincelle jaillira au contact du conducteur et du pavé défectueux.

La boîte une fois découverte, le conducteur rétablit le court-circuit pour faire tomber à nouveau le disjoncteur de l'usine et supprimer le courant dans la ligne, afin de pouvoir enlever cette boîte et y remettre à la place une boîte de réserve qu'il a toujours en sa possession : cette opération ne demande pas plus de deux minutes. Il peut à la rigueur ne rien mettre du tout si des circonstances imprévues l'y obligent, car, un contact inactif peut toujours être franchi par une voiture sans que son mouvement soit arrêté, en raison de la vitesse acquise.

Le mécanicien de l'usine qui voit le disjoncteur tomber ne peut le remettre dans sa position normale tant que le court-circuit existe, mais comme il ne peut être prévenu quand ce court-

circuit a cessé, il agit à la main à de très faibles intervalles sur ce disjoncteur pour le remettre en fonctionnement, de manière que cette opération ait lieu dès que la résistance qui s'opposait à sa remise en position normale a cessé.

D. — *Système Vedovelli et Priestley.*

Une autre application de canalisation électrique par prise de courant à fleur de sol est faite actuellement par nos Collègues MM. Vedovelli et Priestley au chemin de fer du Bois de Boulogne.

Dans ce système, le courant est envoyé successivement dans les pavés de contact ou *plots* disposés en une file unique entre les rails, au moyen d'un commutateur spécial. Ce commutateur est constitué par une bobine dans laquelle, par une dérivation de courant principal, une armature est soulevée et établit le contact tant que la voiture recouvre le plot.

Les pavés de contact sont en fonte avec semelle supérieure en acier quadrillée, amovible. Le frotteur composé de deux parallélogrammes placés côte à côte donne, paraît-il, une grande sécurité; quant aux commutateurs ils sont disposés dans des boîtes étanches de telle sorte que le changement des pièces sujettes à usure soit très facile et par suite très rapide.

IV. — Transport de l'énergie. — Courants polyphasés.

Transport de l'énergie.

Lorsqu'il s'agit d'établir un tramway dans une grande ville, ou des lignes suburbaines à traction électrique, il y a intérêt à placer l'usine centrale, génératrice de l'énergie, aussi près que possible du centre de ce réseau, dans le but de diminuer les dépenses d'installation des conducteurs d'alimentation électrique.

Cette règle peut, toutefois, subir des exceptions. Par suite des facilités que procure pour le transport des charbons le voisinage d'un canal ou d'un fleuve, on trouve souvent avantageux de placer l'usine centrale près de ce canal ou de ce fleuve.

Quelquefois aussi, par suite de considérations locales, on a intérêt à prendre l'énergie électrique à une usine déjà installée. quoique éloignée du réseau.

Quelquefois enfin, il y a lieu de faire usage d'une force naturelle, telle qu'une chute d'eau qui évite l'installation d'une machine à vapeur et de ses chaudières et permet d'obtenir le

courant à des prix avantageux. Cette chute est généralement assez éloignée du réseau.

Dans ces différents cas il faut relier l'usine génératrice avec le réseau, au moyen de conducteurs qui atteignent, quelquefois, une grande longueur et, par suite, entraînent une dépense considérable pouvant contre-balancer les économies obtenues d'autre part. Il y a donc intérêt à réduire cette dépense, en diminuant le plus possible le poids du cuivre de ces conducteurs, tout en conservant un rendement satisfaisant. Il s'agit, en un mot, d'une installation de transport de force.

Le rendement électrique d'une transmission de force est égal au rapport $\frac{e}{E}$ entre la force contre-électromotrice de la réceptrice et la force électromotrice de la génératrice. C'est ce rapport qu'il s'agit de rendre maximum.

Ce rapport peut se représenter par la valeur :

$$\frac{e}{E} = 1 - \frac{R}{E^2} Pp, \qquad [1]$$

dans laquelle

R représente la résistance de la ligne ;
P la puissance absorbée par la génératrice ;
p rendement de la génératrice.

On voit donc que, pour augmenter le rendement de la transmission, on peut disposer de deux moyens :

Soit diminuer la résistance R de la canalisation ;
Soit augmenter la force électromotrice de la génératrice.

On diminue la résistance en augmentant la section du conducteur ; mais on immobilise ainsi un capital considérable ; aussi ce procédé n'est-il applicable qu'aux transmissions très courtes et aux feeders d'alimentation également courts.

Le second procédé est de beaucoup le plus avantageux. En se reportant à la formule précédente, on voit, en effet, que si la

(1) Soit E la force électromotrice de la dynamo génératrice, e la force contre-électromotrice de la dynamo réceptrice, I le courant dans la ligne, R la résistance de la ligne, P la puissance en watts absorbée par la génératrice, p le rendement de la génératrice,

on a : $$I = \frac{E - e}{R},$$

d'où : $$e = E - RI. \quad \frac{e}{E} = 1 - \frac{RI}{E} = 1 - \frac{ERI}{E^2} \qquad [1]$$

Or $p = \frac{EI}{P}$, d'où, en remplaçant dans la formule [1], il vient : $\frac{e}{E} = 1 - \frac{R}{E^2} Pp$.

force électromotrice de la génératrice devient mE, la résistance du conducteur et, par suite, la section du câble, pour un même rendement total devient $\frac{1}{m^2}$. Si, par exemple, le voltage est doublé, la section du conducteur devra être le quart de la section primitive. C'est donc une économie considérable de poids de cuivre.

Mais cet avantage n'est pas obtenu sans quelques inconvénients. L'isolement des fils et des appareils devient plus difficile et des précautions doivent être prises pour éviter les étincelles entre les conducteurs et les corps voisins ; les fuites sont également à redouter. Enfin, les dangers de contact augmentent ; on sait que, pour un courant continu, un voltage supérieur à 600 volts est mortel et, pour un courant alternatif, la tension devient dangereuse au-dessus de 150 volts.

Malgré ces inconvénients, c'est, cependant, ce procédé qui est le plus généralement employé aujourd'hui.

Il peut s'appliquer aux courants continus ou aux courants alternatifs monophasés ou polyphasés.

Mais nous ferons remarquer, tout d'abord, que ces potentiels élevés ne paraissent pas applicables, du moins actuellement, aux moteurs de traction ni même aux génératrices (1). Le voisinage de si hautes tensions serait dangereux et leur utilisation difficile. On ne les emploie donc que dans les conducteurs aériens ou souterrains servant au transport de l'énergie, en surélevant la tension au départ et en l'abaissant à l'arrivée, au moyen de transformateurs dont nous dirons quelques mots plus loin.

Lorsqu'il s'agit de courants continus où les tensions élevées peuvent atteindre jusqu'à 3000 volts et plus, celles-ci peuvent s'obtenir par différents moyens :

Soit en augmentant la vitesse des dynamos génératrices, soit en employant pour les inducteurs et les induits des fils de petit diamètre, soit en accouplant plusieurs dynamos en série. Ces différents procédés, surtout le dernier, ont donné de bons résultats, mais ils sont compliqués. On préfère se servir au départ et à l'arrivée, ainsi que nous l'avons dit, de transformateurs qui élèvent et abaissent la tension du courant de la génératrice.

(1) Une application de courants triphasés au potentiel de 3000 volts et actionnant *directement* des moteurs de traction se fait, en ce moment, sur la ligne de chemin de fer de Lecco-Sandrio-Chiavenna, appartenant au réseau italien des chemins de fer de l'Adriatique (voir *Revue générale des Chemins de fer et des Tramways*, numéro de décembre 1899).

Ces transformateurs rotatifs, composés de deux dynamos dont l'une, recevant le courant à transformer, agit comme électromoteur et dont l'autre, mue par la première et fonctionnant comme génératrice, produit le courant transformé, exigent une surveillance et un certain entretien : c'est leur inconvénient.

Avec les courants continus, le rendement total du transport, avec double transformation et, en supposant un rendement de 0,92 pour les génératrices et une perte en ligne de 0,10, peut être considére comme égal à 76 0/0.

Ce système n'a pas reçu d'application, à notre connaissance, à la traction des tramways.

Lorsqu'il s'agit de courants alternatifs, on se trouve en présence de conditions plus simples. Les alternateurs, produisant ce courant, sont d'une construction économique et n'exigent pas de collecteur ; ils permettent d'obtenir des tensions facilement élevées, et leur rendement est aussi bon que celui des génératrices à courant continu.

Mais, ce qui fait surtout la supériorité de ces courants, c'est la simplicité de leur transformation, au moyen de transformateurs se réduisant à un noyau sur lequel se trouvent deux enroulements, l'un primaire, l'autre secondaire, parfaitement isolés. Il n'y a plus ici, comme dans le cas précédent, de pièces en mouvement et, par suite, pas de surveillance ni de graissage.

Le rendement de ces transformateurs est élevé et atteint 0,95 à 0,96.

Ce mode de transport s'applique aux courants alternatifs, soit monophasés, soit diphasés, soit triphasés.

Lorsqu'il s'agit de traction électrique et qu'on emploie sur les voitures, comme c'est le cas le plus général, des moteurs à courant continu, il y a lieu alors, au point de contact avec le réseau de tramways, de transformer les courants alternatifs en courants continus ; on peut employer, dans ce but, un appareil convertisseur appelé commutatrice, appareil ingénieux, dont le type, étudié dernièrement par Hutin-Leblanc, est un des meilleurs exemples.

Lorsqu'au contraire, on fait usage sur la voiture de moteurs triphasés, à champ tournant qui, outre leur simplicité de construction et l'absence de collecteur, jouissent seuls de la propriété de pouvoir démarrer sous charge, il y a intérêt à employer également dans les conducteurs de transport d'énergie, ces mêmes courants triphasés. Les tensions sont alors surélevées au départ,

au moyen d'un transformateur élévateur fixe et abaissées, au moyen d'un autre transformateur réducteur fixe, au point de contact avec le réseau d'alimentation du réseau de tramways.

Un autre avantage des courants triphasés est l'annulation réciproque des trois courants à l'extrémité de la ligne et, par suite, un fil quelconque sert de retour aux deux autres : on peut ainsi conduire les trois courants au moyen de trois fils seulement, au lieu de six, ce qui diminue considérablement le poids du cuivre. Sur un réseau de tramways ce nombre de fils se réduit même à deux, les rails pouvant servir de conducteur.

Le rendement total d'une pareille transmission est d'environ 68 0/0.

Emploi de l'énergie.

Nous nous trouvons donc en présence de deux modes d'exploitation de ligne de tramways :

1° L'énergie, transportée sous forme de courants alternatifs, monophasés, diphasés ou triphasés, est employée, après transformation au moyen de convertisseurs, sous forme de courants continus ;

2° L'énergie, transportée sous forme de courants triphasés, est employée sur le réseau, après abaissement de voltage au moyen de transformateurs, sous la même forme et avec des moteurs à champ tournant asynchrones.

Exploitation par moteurs à courant continu. — Le premier mode est celui qui a été jusqu'ici le plus employé.

C'est ainsi qu'est exploité le réseau important de tramways de la ville de Rome, où l'énergie est fournie par des génératrices installées à Tivoli et mises en mouvement par des turbines. Le courant alternatif simple à 5 000 volts est envoyé dans une ligne aérienne de 25 *km* de longueur ; puis la tension est réduite une première fois à 2 000 volts et le courant alternatif est converti en continu à 500 volts et envoyé dans le réseau de tramways.

Au chemin de fer métropolitain de Londres, le Central London Railway, des courants triphasés à 5 000 volts sont convertis en courants continus à 500 volts et actionnent ensuite les moteurs de la locomotive ; cette transformation se fait à quatre sous-stations installées le long de la ligne, au moyen de convertisseurs rotatifs.

Les mêmes dispositions sont adoptées en Irlande sur le tramway Dublin-Dalkey, aux États-Unis, à Porland, Lowell. Mais

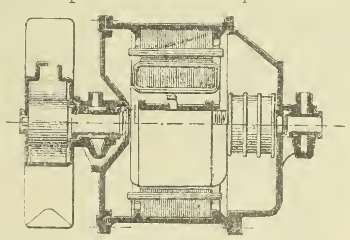
l'exemple le plus remarquable est celui des tramways de Buffalo et celui des différents réseaux qui avoisinent les chutes du Niagara. Les courants diphasés sont produits par des génératrices installées dans l'usine de la Niagara Falls Power C°, située près de ces chutes; chacune des dynamos au nombre de douze, est actionnée par une turbine d'une puissance de 5 000 *ch* à la vitesse de 250 tours par minute.

La tension de 2 250 volts, avec une fréquence de 25 périodes, produite par les génératrices et suffisante pour la distribution à faible distance dans les environs de Niagara, est portée à 10 ou 20 000 volts avant d'être envoyée à Buffalo, distant de 35 *km*. A l'arrivée dans cette ville la tension est d'abord abaissée à 4 000 volts, puis le courant diphasé est converti en continu au potentiel habituel de 500 volts.

Exploitation par courants polyphasés. — Le second mode d'exploitation qui n'a reçu encore que peu d'applications, mais qui est appelé à se répandre, nous amène à dire quelques mots des moteurs polyphasés à champ tournant asynchrones qui sont ceux dont on fait usage actuellement pour la traction électrique.

Moteurs polyphasés. — Un moteur triphasé à champ tournant asynchrone *(fig. 31)* se compose de deux cylindres concentriques en tôles feuilletées; ce feuilletage a pour but d'empêcher la formation des courants de Foucault. Le cylindre extérieur est fixe et entoure le cylindre intérieur, en laissant entre les deux un intervalle appelé entrefer, aussi faible que possible. Ce cylindre intérieur mobile est calé sur un arbre qui, au moyen d'un système d'engrenages à simple réduction, actionne l'essieu de la voiture.

Fig. 31. Moteur polyphasé pour la traction électrique



Des dentures, ménagées le long de l'entrefer et dans chacun des cylindres, permettent d'y loger des enroulements en fils ou en barres isolées.

L'enroulement du cylindre extérieur forme inducteur et les courants triphasés qui le traversent et qui y sont amenés par les conducteurs extérieurs d'alimentation, produisent dans l'entrefer un certain nombre de flux magnétiques tournants dont le nombre

dépend de celui des pôles disposés sur l'inducteur : ce nombre, pour les moteurs de traction, varie de 10 à 12.

Le champ magnétique tournant ainsi obtenu a une intensité à peu près constante, et sa vitesse de rotation dépend du nombre de pôles de l'inducteur et de la fréquence, c'est-à-dire du nombre de périodes par seconde du courant alternatif.

Ces flux magnétiques tournants produisent des courants induits dans les enroulements du cylindre intérieur qui, par leur réaction sur le champ magnétique, amènent la rotation du cylindre intérieur mobile et produisent le couple moteur.

Les enroulements de l'inducteur et de l'induit peuvent se faire avec bobinage en anneau ou en tambour et celui de l'induit est divisé en trois circuits, comme celui de l'inducteur. Les trois circuits de l'induit aboutissent à trois bagues, fixées sur l'arbre, qui permettent d'amener le courant à des rhéostats extérieurs destinés à faciliter le démarrage et à régler la vitesse.

Les trois extrémités des enroulements des inducteurs sont reliées, au moyen de bornes fixes, aux trois fils d'alimentation du courant, deux fils aériens et le rail comme troisième conducteur. Quant aux trois autres extrémités de ces enroulements, on les relie, soit en triangle, mais plus souvent en étoile.

On voit donc qu'avec le moteur triphasé, le cylindre mobile induit n'a besoin que de trois bagues isolées sur lesquelles viennent frotter des balais au charbon, disposition plus simple et moins sujette à dérangement que le collecteur des moteurs à courant continu ; quant à l'inducteur, il n'a besoin que de bornes fixes.

Avec les moteurs triphasés à champ tournant, la vitesse du moteur varie peu avec la charge et le couple moteur se modifie proportionnellement à cette charge. On obtient donc ainsi une vitesse des voitures à peu près constante, quel que soit le profil.

Mais le couple moteur au démarrage est très faible, et c'est pour l'augmenter qu'on dispose, comme nous venons de le dire, sur les fils de l'induit, des rhéostats qui permettent, en même temps, de faire varier la vitesse pour un effort donné.

Pour obtenir les différentes combinaisons de résistances nécessaires pour le démarrage et les variations de vitesse, on se sert d'un régulateur agissant sur les rhéostats, manœuvré de la plate-forme par le conducteur, comme pour les moteurs à courant continu.

Le changement de marche de la voiture s'obtient en intervertissant, au moyen d'un inverseur, placé sur la plate-forme, le

courant de deux phases consécutives, ce qui a pour résultat de renverser le sens de la rotation du champ tournant.

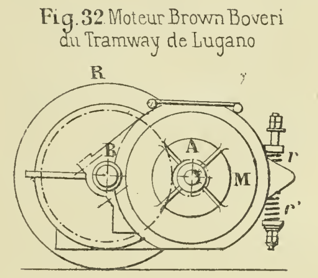
Il est bon d'ajouter que l'emploi des courants triphasés supprime les actions corrosives électrolytiques qui se produisent avec les courants continus. Mais, d'un autre côté, les courants alternatifs sont la cause, dans les fils télégraphiques ou téléphoniques, de perturbations importantes qui exigent leur doublement et leur mise à terre.

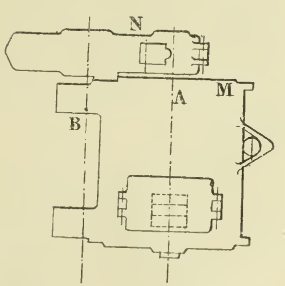
Application des courants polyphasés aux tramways. — La première application des courants triphasés à la traction électrique a été faite à Lugano, en 1896, par la maison Brown-Boveri.

La longueur de la ligne est de 4,9 *km* et l'inclinaison maximum de 0,06 *m* par mètre.

Le courant triphasé à 5 000 volts, produit par des alternateurs actionnés par des turbines, est amené au réseau de tramways par des conducteurs aériens de 12 *km* de longueur. Au point d'arrivée, la tension du courant est abaissée à 400 volts qui est le potentiel du réseau.

Fig. 32 Moteur Brown Boveri du Tramway de Lugano





Les voitures à 24 places, pesant 6,5 *t* en charge, sont actionnées par un seul moteur représenté figure 32. Ce moteur a 12 pôles et les courants, à 40 périodes par seconde, y sont amenés par les rails et par deux fils aériens de 0,006 *m* de diamètre. La régulation est obtenue au moyen de trois rhéostats commandés par un arbre commun, manœuvré de la plate-forme, au moyen d'une petite transmission par poulie et courroie.

Une autre application a été faite en 1898 à Évian-les-Bains. Cette petite ligne, de 300 *m* de longueur seulement, sert à relier le bord du lac de Genève avec l'Hôtel Splendide, situé à 20 *m* plus haut. La rampe maximum est de 0,102 *m* et le rayon minimum de courbes de 15 *m*.

Le courant triphasé, produit à 5 200 volts et 50 périodes, dans une usine distante de 13 *km* est réduit, à son arrivée, à une tension de 200 volts, celle admise pour le tramway.

La voiture, pesant 4 *t* et contenant 14 voyageurs, dont 8 assis, est munie d'un moteur triphasé de 15 *ch* pouvant en développer 25 à 30. L'arbre du moteur fait 750 tours par minute et actionne, par simple réduction, un arbre intermédiaire qui, au moyen de chaînes, agit sur les deux essieux de la voiture.

Le courant est amené à l'inducteur par deux fils aériens de 0,006 *m* et par les rails de la voie dont les joints sont reliés électriquement.

Le démarrage est obtenu par un rhéostat placé sur les fils de l'induit et manœuvré de la plate-forme; on a également placé sur cette plate-forme un interrupteur de circuit.

La vitesse de marche à la montée et à la descente est de 10 *km*.

Lorsque la voiture descend et que le moteur atteint la vitesse correspondant au synchronisme, celui-ci agit comme générateur et renvoie le courant dans les conducteurs d'alimentation; il se produit ainsi une certaine récupération.

Nous pourrions encore citer le chemin de fer d'intérêt local de Varese, en Italie, établi par la Compagnie Thomson-Houston. Le courant d'alimentation triphasé à la tension de 5 000 volts et 45 périodes, sert à alimenter deux sections, l'une de 30 *km* avec rampes de 0,045 *m* et l'autre de 8 *km* avec nombreuses courbes et rampes continues de 60 et 72,5 0/0 par mètre. Les voitures sont munies de deux moteurs triphasés de 70 *ch*.

On a ouvert tout récemment, en Suisse, la ligne de Standstadt à Engelberg. La première section, de 18 *km* a des rampes de 0,050 *m* et la seconde, de 1 540 *m* de longueur, des rampes de 0,250 *m* ; cette dernière est munie de la crémaillère Riggenbach. Le rayon minimum des courbes est de 50 *m*.

Les deux fils aériens espacés de 0,90 *m* ont un diamètre de 0,0075 *m*.

La première section est exploitée au moyen de voitures automotrices à 48 places, et, sur la seconde, ces voitures sont remorquées par une locomotive électrique à crémaillère.

Le courant à la tension de 750 volts est amené directement de l'usine génératrice à la première section. Pour la seconde, la tension est élevée, au départ de l'usine, à 5 000 volts et abaissée à l'arrivée, près de Stans, distant de 12 *km*, au potentiel de 750 volts qui est celui de la ligne.

Sur la section à pente de 0,250 *m* les deux moteurs de la locomotive sont mis en parallèle et, lorsque la vitesse du moteur dépasse le synchronisme, une partie du courant engendré est

récupérée et l'autre est envoyée dans un rhéostat en produisant le freinage de la voiture.

Nous pourrions encore citer la ligne à crémaillère de Zermatt-Gornergrat et celle en construction de la Jungfrau. Mais ces lignes sont plutôt des lignes de chemins de fer et sont un peu en dehors de notre sujet; nous ne nous y arrêterons donc pas.

V. — Usines centrales génératrices.

L'usine centrale, destinée à produire l'énergie électrique, se compose de dynamos génératrices et de moteurs actionnant ces génératrices.

Ces moteurs peuvent être à vapeur ou hydrauliques : roues ou plus généralement turbines.

Il nous serait difficile d'entrer dans les détails de ces installations qui sont presque toujours différentes les unes des autres et dépendent le plus souvent de considérations locales qu'il est impossible de généraliser.

Nous dirons seulement qu'au point de vue économique, il y a avantage à diminuer le nombre des unités, en augmentant la puissance de chacune; mais, d'un autre côté, on se trouve limité par l'importance du capital engagé et par les dépenses d'entretien : de plus, il faut tenir compte des machines de réserve nécessaires dans toute exploitation. Suivant son importance, ces unités varient entre 100 et 1 000 *ch* et même 2 000 *ch*, comme dans certaines stations américaines récentes.

Il est utile de choisir ces unités de manière à pouvoir, en fractionnant la puissance totale, suivre les variations qui se produisent périodiquement dans le service. Quant aux surcharges momentanées, on y fait face en faisant travailler les machines, pendant un court instant, au-dessus de la puissance normale.

On emploie généralement des dynamos multipolaires à quatre, mais plus souvent à six pôles, pour les courants continus. On peut ainsi en réduire la vitesse et en faciliter la commande, soit par la machine à vapeur, soit par la turbine.

Le rendement des dynamos est élevé, et la variation de ce rendement, entre la pleine et la demi-charge, ne dépasse pas 3 0/0.

L'excitation se fait en compound et on emploie souvent l'hypercompoundage qui permet d'avoir un voltage constant à la prise de courant sur la ligne.

Les moteurs à vapeur qui actionnent les dynamos commandent

celles-ci, soit directement, soit par courroie ou par corde ; l'une et l'autre de ces dispositions a ses partisans.

Les machines à vapeur sont ou verticales, type pilon, ou horizontales; on semble, cependant, préférer ce dernier type lorsqu'on n'est pas limité par l'espace. Elles peuvent être à simple détente ou compound. Pour les réseaux moyens, où le travail est âssez variable, on semble employer, plus généralement, les machines à un seul cylindre qui permettent d'obtenir plus facilement les grandes variations d'admission, nécessitées par les variations de charge. Dans tous les cas, elles doivent être munies de régulateurs sensibles et de volants très lourds.

Les chaudières doivent avoir une grande puissance de production de vapeur, afin de faire face aux variations de trafic. On les munit généralement de réchauffeurs d'eau d'alimentation et d'appareils de chargement automatiques de charbon. Les appareils Vicars sont très employés en Angleterre.

Le choix du type de chaudières dépend d'une foule de circonstances spéciales, ainsi que de l'emplacement dont on peut disposer. Aussi rencontre-t-on des chaudièrees à bouilleurs ordinaires, des chaudières à foyer intérieur, semi-tubulaires et multitubulaires.

Pour quelques installations de réseaux de tramways on a, dans ces derniers temps, notamment à Zurich et à Lausanne, fait usage, comme moteur des dynamos génératrices, de machines à gaz pauvre. Ces moteurs, avantageux à certains points de vue, ont l'inconvénient de nécessiter une marche régulière, car s'ils supportent difficilement tout travail un peu important dépassant la puissance normale, leur rendement diminue beaucoup lorsque la puissance devient inférieure à ce travail. Aussi est-il nécessaire dans ces installations de régulariser, autant que possible, le travail demandé aux moteurs. C'est à une batterie d'accumulateurs qu'on a recours et, comme ce mode de régulation est également employé dans différents autres cas, nous croyons intéressant d'en dire quelques mots.

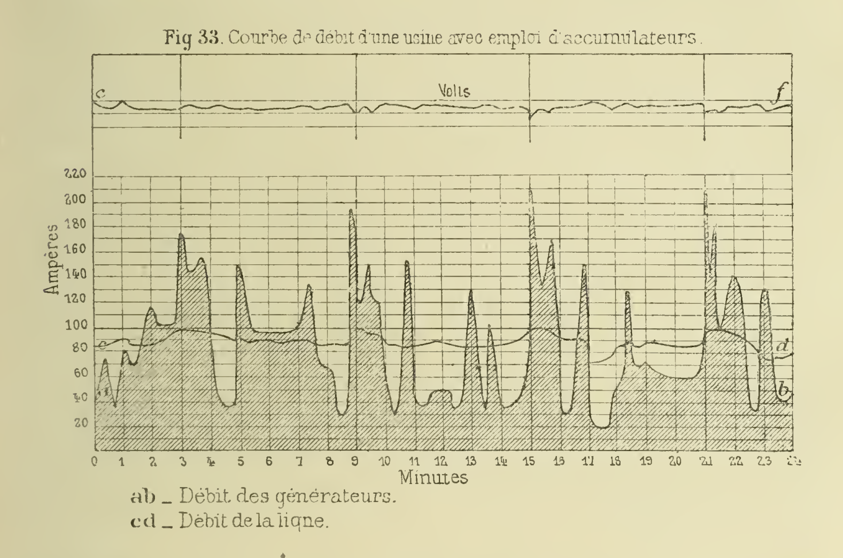
Lorsqu'il s'agit de lignes de tramways à trafic faible et même moyen, on sait que le travail demandé à l'usine centrale varie, à chaque instant, d'une manière considérable et que ces variations dépendent du nombre de voitures en circulation ainsi que du nombre de démarrages se faisant au même moment. Il en résulte une intensité de courant variant souvent entre 20 et 210 ampères avec baisse de voltage et, par suite, un travail très

irrégulier de la dynamo et des machines motrices. De là rendement faible et consommation de charbon supérieure à celle exigée pour un travail normal.

Pour l'éclairage électrique où se produisent également des variations semblables, quoique moindres et plus réguliéres on avait résolu le problème en installant en dérivation sur la ligne une batterie d'accumulateurs. Il paraissait tout indiqué d'employer le même mode de régulation pour les réseaux de tramways. C'est ce qui a été fait, dans ces dernières années, notamment sur les lignes de Zurich-Hirslanden, de Ramscheid, de Mackenbeuren, de Neufchatel-Saint-Blaise, de Fontainebleau.

Le diagramme *(fig. 33)* montre le résultat obtenu sur la ligne

Fig 33. Courbe de débit d'une usine avec emploi d'accumulateurs.



ab _ Débit des générateurs.
cd _ Débit de la ligne.

Zurich-Hirslanden. Cette ligne a 4,55 *km* de longueur et l'énergie est produite par deux groupes générateurs de 90 *ch*; une batterie d'accumulateurs de 270 éléments Tudor est couplée sur la ligne, en dérivation. La ligne *ab* représente la courbe de débit en ampères sur le réseau et la ligne *cd* celle des génératrices. Tandis que pour la première les variations sont comprises entre 20 et 210 ampères, pour les secondes les mêmes variations sont comprises entre 72 et 102. Toute l'énergie représentée par les surfaces hachurées au-dessus de la ligne *cd* est fournie par l'accumulateur et tous les petits sillons non hachurés, au-dessous de la même ligne, sont comblés par la génératrice, lorsque la demande d'énergie sur la ligne est inférieure au travail normal

de la dynamo génératrice. Dans le premier cas, l'accumulateur travaille à la décharge et dans le second à la charge.

On a ainsi obtenu une diminution de puissance des génératrices de 50 0/0 et la consommation de charbon, par cheval-heure, s'est trouvée réduite de 2,5 à 1,5 *kg*. Cette économie de charbon a plus que compensé l'augmentation de dépense résultant de l'accumulateur et de ses accessoires.

Les mêmes résultats ont été obtenus à Remscheid, et sur les autres réseaux, où la même disposition a été appliquée.

Quelquefois la batterie, au lieu d'être placée près de la génératrice, est disposée en dérivation sur la ligne, au point le plus chargé, comme à Philadelphie, sur la ligne de Chesnut-Hill.

A Buffalo, où le réseau de tramways est alimenté par des courants triphasés, convertis en continus à 500 volts, au moyen d'un convertisseur rotatif, l'accumulateur est placé près du convertisseur et uniformise son débit, en le faisant toujours travailler à pleine charge. La même disposition a été adoptée à Neufchatel, Saint-Blaise.

Pour que le fonctionnement de ces accumulateurs se fasse dans de bonnes conditions, il est indispensable que la tension du courant débité par cet accumulateur, à la charge ou à la décharge, soit la même que celle du réseau. Diverses dispositions ont été adoptées dans ce but, notamment celle étudiée par M. Pirani et appliquée à Fontainebleau et à Remscheid. Dans ce cas, une dynamo auxiliaire, placée sur le circuit des accumulateurs et à double enroulement d'induction, l'un en dérivation sur l'accumulateur, l'autre traversé par le courant même de la ligne, égalise cette tension.

Tramways funiculaires.

Le tramway funiculaire se compose d'un câble sans fin s'enroulant, à une extrémité de la ligne, sur une poulie fixe et à l'autre extrémité sur une poulie mobile, à laquelle est attaché un contrepoids dont le but est de donner au câble la tension nécessaire : c'est le tendeur. Un des brins de ce câble entraîne la ou les voitures dans un sens, au moyen d'un appareil qui porte le nom de « grip », et l'autre brin les entraîne dans un sens opposé.

Ce câble, en un point quelconque de son parcours, mais généralement près de l'extrémité opposée à celle occupée par la

poulie fixe, s'enroule autour d'une ou plusieurs poulies à gorge actionnées par un moteur à vapeur donnant le mouvement à tout le système et, par suite, aux voitures.

Le nombre des poulies motrices autour desquelles doit s'enrouler le câble rentrant dépend de l'effort auquel ce câble est soumis et, par conséquent, du profil et du nombre de voitures en service; il dépend également du frottement du câble sur cette poulie, ainsi que de la tension donnée au câble sortant par le tendeur. Cette tension, qui doit être telle qu'il ne se produise aucun glissement sur les poulies motrices, est fonction d'une foule de circonstances qui en rendent très difficile la détermination exacte par avance ; aussi est-ce à l'expérience qu'on a recours pour fixer exactement la charge du contrepoids des tendeurs.

La poulie à laquelle est fixé ce contrepoids est, de plus, mobile sur des rails, afin de pouvoir tenir compte de l'allongement total du câble, allongement qui, au début, peut atteindre 1 0/0 de la longueur, ainsi que des différents mouvements de la poulie mobile, dus aux variations d'effort sur le câble et résultant de la marche des voitures et de leur démarrage.

Le câble, suivant les circonstances, est placé, soit au niveau de la voie, soit au-dessous de la chaussée dans un caniveau installé entre les rails; ce dernier mode est le seul applicable aux tramways. Il est supporté tous les 10 *m* environ par des poulies à gorge à axe horizontal d'un diamètre variant entre 0,20 *m* et 0,30 *m*. Dans les courbes, ces poulies, beaucoup plus rapprochées, sont à axe vertical ou incliné, et la gorge doit en être étudiée suivant la position occupée et la tension du câble : l'expérience seule permet d'en déterminer sûrement la forme.

La disposition, les dimensions, ainsi que la forme exacte à donner à ces poulies forment une des parties les plus délicates de la construction des tramways funiculaires, surtout lorsqu'il s'agit de lignes parcourant, comme le tramway de Belleville, des voies étroites, sinueuses et nécessitant de nombreux garages. C'est ce qui explique les difficultés du début de l'exploitation de cette ligne.

Les caniveaux, destinés à recevoir les câbles et les poulies de roulement, sont généralement formés par un ensemble de chaises en fonte également espacées et réunies entre elles par une paroi en béton. Une rainure de 29 à 30 *mm* de largeur, ménagée à la partie supérieure dans l'axe de la voie, permet le passage

de la tige du grip qui relie la voiture avec le câble de traction.

Ces caniveaux doivent être très robustes, afin de résister aux charges circulant sur la chaussée ou la traversant; ils doivent pouvoir également résister aux poussées horizontales tendant à rétrécir la rainure. Ils se trouvent, du reste, dans les mêmes conditions que ceux servant à la traction mixte par trolley et conducteur souterrain dont nous parlons ailleurs et dont nous avons montré des exemples.

Le câble de traction, une des parties constituantes les plus importantes du système funiculaire, doit être à la fois résistant et élastique. Il est composé d'une âme en chanvre ou en aloès recouverte généralement de six ou sept torons formés d'une âme en fils d'acier de petit diamètre entourée d'une couche de fils également en acier, mais de plus grand diamètre, 3 *mm* environ. Ces torons sont enroulés autour de l'âme en chanvre dans le même sens que l'enroulement des fils autour des torons, de manière à incliner ces fils sur l'axe du câble. L'expérience a montré que cette disposition, la seule aujourd'hui employée, est de beaucoup préférable à celle primitivement adoptée et qui consistait à enrouler les torons sur le câble en sens inverse de l'enroulement des fils de ceux-ci. Les ruptures de fils ne se produisent plus, ou du moins, beaucoup plus rarement, et l'usure se fait plus régulièrement.

Le diamètre du câble varie entre 29 et 30 *mm* et son poids est d'environ 3 *kg* par mètre courant. Les fils d'acier qui servent à sa fabrication ont une résistance variant entre 120 et 150 *kg* par millimètre carré avec 1 0/0 d'allongement.

Sa durée, variable avec la fabrication et l'intensité du trafic, est d'environ six à huit mois.

Une des grandes difficultés de la fabrication des câbles de traction est leur jonctionnement, soit au moment de la pose, soit lorsqu'il s'agit de les réparer, à la suite de rupture. Ce jonctionnement, qui se fait au moyen d'épissures, exige des ouvriers habiles et habitués à cette opération délicate, demandant beaucoup de soins pour conserver une uniformité dans le diamètre du câble, chose indispensable pour un bon fonctionnement.

Les poulies motrices à gorge se font généralement en fonte et d'un seul morceau; leur diamètre varie entre 2,50 *m* et 3,60 *m*.

Dans le but d'éviter les glissements du câble sur les poulies motrices et résultant de la différence de tension du câble rentrant et du câble sortant, on emploie souvent la poulie motrice

Walker où le bandage qui reçoit le câble peut glisser à l'intérieur de la jante disposée à cet effet. On fait ainsi disparaître les à-coups qui se produisent sur les machines motrices et nuisent à leur bonne marche.

De plus, pour augmenter le coefficient de frottement du câble sur les poulies motrices, on interpose généralement dans la gorge de la poulie des cales en bois ou en acier sur lesquelles s'appuie le câble. On a soin, du reste, de ne pas trop lubrifier ce dernier, en ne le recouvrant qu'une seule fois par jour d'un enduit qui a pour but d'éviter une oxydation trop rapide.

Les poulies motrices sont actionnées :

Soit en commandant une seule poulie motrice, la seconde étant entraînée par le mouvement du câble ; c'est la disposition adoptée aux tramways de Belleville ;

Soit en commandant au moyen d'un engrenage les deux poulies motrices. C'est la disposition la plus généralement employée ;

Soit, enfin, comme à Glasgow, en commandant directement chacune des poulies motrices.

Quant à la machine à vapeur, elle peut :

Soit actionner directement l'arbre qui commande par engrenage les deux poulies motrices ;

Soit actionner directement ou par engrenage un arbre intermédiaire qui, lui, commande à son tour, par engrenage ces poulies

Soit, enfin, et c'est la disposition qui a été employée dans les grandes installations récentes, comme à Glascow, en actionnant par cordes un arbre intermédiaire qui, à son tour, commande par cordes une poulie agissant, soit par engrenages, soit directement sur les poulies motrices. On obtient avec cette disposition un mouvement très doux et beaucoup moins bruyant.

Une chose intéressante et importante à connaître lorsqu'il s'agit de l'établissement d'un tramway à câbles, est le rendement de tout le système, c'est-à-dire le rapport entre le travail recueilli par les voitures et celui produit par les machines motrices. Les nombreuses expériences faites en Amérique permettent de conclure que, lorsqu'il s'agit d'une ligne à trafic intense et à tracé moyen, ce coefficient de rendement ne s'éloigne pas beaucoup du chiffre de 50 0/0.

M. de Marchena, dans son mémoire de 1894, et nous, dans notre ouvrage déjà cité, avons donné divers renseignements sur les tramways établis à cette époque : nous n'y reviendrons donc pas.

Nous devons ajouter, du reste, que la traction par câble ne semble aujourd'hui avoir sa raison d'être que dans des cas spéciaux : intensité de trafic très grande, jointe à de fortes rampes.

Aux États-Unis, où la première application aux tramways date de 1873, la longueur des tramways à câble, en 1894, était de 1 066 *km*. A cette époque ils avaient pris une grande extension, notamment à Chicago, Saint-Louis, Cleveland, Denver, New-York (1), San Francisco, Washington. Actuellement la traction par câble perd chaque jour la faveur des Ingénieurs et du public américain, et on la remplace successivement par la traction électrique. Ainsi la Métropolitan Traction C°, une des plus importantes de New-York, transforme tout son outillage en traction électrique avec caniveau souterrain.

Les Américains reprochent à ce système son prix élevé de premier établissement et sa complication qui devient extrême lorsqu'il y a lieu d'établir des croisements et des bifurcations. Les dépenses d'entretien et d'exploitation sont également, d'après eux, supérieures à celles d'un tramway électrique.

Ils lui reprochent également une moins grande douceur de roulement, des démarrages trop durs et désagréables pour les voyageurs, lorsqu'on veut obtenir une accélération rapide et qui, malgré tout, ne peut pas être égale à celle des moteurs électriques. D'où vitesses moyennes moins grandes et impossibilité, par suite de la vitesse limitée du câble, de rattraper le temps perdu lorsque, par suite d'un encombrement quelconque, les voitures sont arrêtées momentanément en un point de leur parcours.

On lui reproche, enfin, les accidents graves pouvant résulter, soit de l'impossibilité accidentelle de séparer le grip du câble, soit de l'obstruction du caniveau par un objet quelconque arrêtant alors subitement la marche de la voiture. La marche en arrière est également impossible, ce qui, dans certains cas, peut avoir des inconvénients.

Sur le continent européen la traction par câble ne paraît pas non plus prendre d'extension. Nous devons, cependant, signaler en Angleterre deux installations récentes de tramways à câble :

(1) Au 30 juin 1899 la Compagnie Métropolitaine de New-York exploitait 40,75 *km* de voies à traction funiculaire ; les frais d'exploitation se sont élevés à 50,8 0/0 des recettes, tandis qu'ils n'ont été que de 38 0/0 avec la traction électrique pour atteindre 69,8 0/0 avec la traction animale.

Traction funiculaire (1).

	FRANCE	GRANDE-BRETAGNE			ÉTATS-UNIS						
	— PARIS	LONDRES	BIRMINGHAM	EDIMBOURG — 2 lignes	PHILADELPHIE — Market St.	NEW-YORK — Broadway	SAN FRANCISCO Clery St.	SAN FRANCISCO Market St.	SAN FRANCISCO Presidio et Union	LOS ANGELES	CHICAGO — Réseau Sud
Date de construction	1891	1883	1887-89	1884	1886	1893	1873	1883-86	1880	1884-89	1882
Longueur totale des lignes. . . *km*	2,02	11,50	4,8	4,4	19,0	8,32	1,65	14	4	30	14
Nombre de câbles.	1	1	1	2	4	1	1	7	2	5	3
Diamètre. . . . . *mm*	30	»	»	»	»	»	25	34	27	»	25
Rampe maxima. . . . *mm* par *m*	73	90	70	87	50	en palier	58	120	189	110	en palier
Nombre de stations motrices. . . .	1	1	1	1	2	1	1	1	»	»	1
Vitesse des câbles. . . . . . . *km*	10	8	»	11 et 14	»	»	9,6	13,7	10	12,9	15,5
Force nécessaire pour l'entraînement des câbles à vide . . . . . . *ch*	60	»	60	»	»	»	23	204	»	»	184
Force nécessaire supplémentaire par voiture à la montée . . . . . *ch*	8	»	6,5	»	»	»	0,8	2,10	1,44	»	»
Frais de traction par train.-kil.. *f*	0,72	0 33	0,26	»	»	0,55	»	»		»	0,4

(1) Tableau tiré de : G. Dumont, *Automobiles sur rails* (Encyclopédie Léauté).

celle des Tramways d'Édimbourg et celle du Subway de Glascow. Ce dernier sert de chemin de fer de ceinture à la Ville et les deux voies sont placées dans des tunnels séparés; sa longueur est d'environ 14 kilomètres. Les câbles sont mis en mouvement par deux machines de 1 500 *ch* chacune. On retrouve dans cette installation, d'ailleurs soigneusement étudiée, les derniers perfectionnements des tramways à câble établis aux États-Unis et dont nous avons parlé plus haut.

Nous donnons ci-dessus un tableau des différentes applications de tramways funiculaires avec leurs conditions principales d'établissement.

4e Classe.

Véhicules mixtes électriques. Traction électrique sur fortes rampes.

Nous avons dû classer ces véhicules mixtes électriques dans une catégorie spéciale parce qu'ils tiennent à la fois des véhicules des 2e et 3e classes.

Dans cette catégorie se trouvent :

1° Les tramways recevant l'énergie de canalisations aériennes et en emmagasinant une partie dans des accumulateurs;

2° Les tramways recevant alternativement l'énergie de canalisations aériennes et souterraines par caniveaux;

3° Les tramways recevant alternativement l'énergie de canalisations aériennes et de courants à fleur de sol.

Nous dirons, enfin, quelques mots des tramways électriques sur forte rampe qui intéressent également la traction urbaine.

I. — Traction mixte par trolley et accumulateurs.

Dans ce mode de traction, sur une ou plusieurs sections de la ligne, les moteurs sont alimentés par un courant amené par la canalisation aérienne et le trolley en même temps que ce courant sert au rechargement d'une batterie d'accumulateurs qui, elle, à son tour, devra fournir le courant aux électromoteurs, sur la ou les sections de ligne où la canalisation aérienne sera supprimée.

Ce mode d'exploitation a été depuis quelques années déjà appliqué en Allemagne, notamment à Hanovre où les premiers

essais ont été faits vers 1896 et, plus récemment, à Berlin. Il a reçu tout dernièrement une application à Paris, aux tramways de la place de la République à Aubervilliers et à Pantin qui sont à fil aérien et trolley hors des fortifications et à accumulateurs dans l'intérieur de Paris. Le rechargement de la batterie se fait sur le parcours en trolley entre les fortifications et Aubervilliers d'une part, et Pantin de l'autre. Il va être appliqué également à certains des nouveaux tramways de pénétration parisienne.

La ligne de la place de la République à Aubervilliers a une longueur totale de 6,750 *km* dont 4,670 *km* intra-muros et 2,080 *km* extra-muros.

Celle de la place de la République à Pantin a une longueur de 6,200 *km*, dont 4,520 *km* intra-muros et 1,680 *km* extra-muros.

Ces deux lignes ont un parcours commun dans Paris, de 2,400 *km*.

La rampe maximum de 33 *mm* par mètre se trouve dans Paris sur le parcours de la rue du Faubourg-Saint-Denis, entre le boulevard Magenta et la rue La Fayette. Sur le boulevard Magenta, on rencontre deux rampes consécutives de 13 à 21 *mm* et, en trois autres endroits, trois courtes rampes de 20,11 et 15 *mm*. Sur le reste du parcours les inclinaisons sont toutes inférieures à 10 *mm*.

Il y a lieu, toutefois, de remarquer que les inclinaisons maximum consécutives et d'une certaine longueur se rencontrent dans le sens du retour de la place de la République à Aubervilliers ou Pantin, lorsque la batterie a déjà subi une certaine décharge pendant le voyage d'aller.

L'usine centrale, installée au point terminus d'Aubervilliers, sur les terrains occupés auparavant par les bâtiments de l'ancien dépôt de la Compagnie, comporte trois chaudières multitubulaires Roser de 193 m^2 de surface de chauffe et timbrées à 10 *kg*.

Ces chaudières alimentent trois machines à vapeur horizontales Corliss à condensation du type Lecouteux et Garnier, ayant chacune une puissance de 250 *ch* à la vitesse de 75 tours par minute.

Ces dernières commandent chacune, au moyen d'une poulie-volant, une dynamo à enroulement compound du type Thomson-Houston à 6 pôles produisant 150 kilowatts à la vitesse de 400 tours. Le débit, en marche normale, est de 300 ampères sous 550 volts; mais il peut être porté à 375 ampères sans que le fonctionnement en souffre. L'enroulement est, en plus, disposé

de façon à pouvoir obtenir un voltage de 575 à 600 volts, nécessaire pour assurer à l'usine la charge complète des batteries d'accumulateurs, c'est-à-dire environ 2,60 volts par élément.

A ce propos, il est utile de dire que, pendant le rechargement en cours de route, on ne restitue aux batteries que l'énergie dépensée pendant le parcours dans Paris, sans tenir compte de la perte de rendement entre la charge et la décharge. C'est pendant la nuit, et après le service, que s'opère cette charge complémentaire à l'usine centrale, au moyen d'un circuit aérien installé dans cette usine.

La ligne aérienne, Aubervilliers-Paris, est reliée directement au tableau de distribution de l'usine centrale, sous le voltage de 500 volts à l'usine.

Le conducteur aérien Paris-Pantin qui se termine dans la rue de Paris, à Pantin, est relié au tableau de l'usine centrale par un feeder souterrain de 300 mm^2. Pour tenir compte de la perte de charge due à ce feeder et obtenir dans le conducteur aérien de Pantin le voltage nécessaire au rechargement des batteries, on a dû maintenir à l'usine un voltage moyen de 530 à 550 volts.

Les voitures à impériale couverte, qui sont les mêmes que celle représentée figure 6 *(Pl. 227)*, pèsent à vide, sans accumulateurs, 10 *t*; en y ajoutant le poids des 56 voyageurs, des deux employés et de la batterie, on arrive à un poids total, en ordre de marche, de 17 à 18 *t*.

Ces voitures reposent sur deux bogies à traction maximum dont nous avons donné le dessin *(fig. 18)*; les grandes roues portent environ 75 0/0 du poids total, ce qui assure une adhérence suffisante pour la remorque sur la rampe de 33 *mm* de la rue du Faubourg-Saint-Denis.

La perche du trolley, qui sert à la traction hors Paris, a été disposée de manière à pouvoir être complètement abaissée sur le toit de la voiture, pendant la traction par accumulateurs dans Paris, afin de permettre le passage de la voiture sous les ponts très surbaissés du chemin de fer de Ceinture.

Les accumulateurs sont placés dans une caisse suspendue sous la voiture entre les deux bogies. Cette batterie se compose de 224 éléments en 8 groupes de 28 éléments chacun.

Chacun de ces éléments, qui se compose de trois plaques positives et de quatre négatives, pèse, y compris acides, accessoires et bacs, 13 *kg*. En y ajoutant le poids des petites caisses et de la grande, on trouve pour la batterie un poids total de 3 812 *kg*.

Les plaques positives sont du type à auget avec oxydes rapportés de la Société pour le Travail électrique des métaux; quant aux plaques négatives, elles sont obtenues par la réduction du plomb.

Tous les éléments sont réunis en série avec connexions soudées.

On admet pour ces batteries une capacité utilisable de 45 à 48 ampères-heure sous 400 volts, ce qui correspond à $\frac{48}{13} = 3,7$ ampères-heure par kilogramme d'élément.

Chaque bogie est muni d'un moteur à simple réduction du type 800 de la Compagnie Thomson-Houston, et la régulation se fait au moyen de deux contrôleurs série parallèle, placés chacun sur une des plates-formes, afin d'éviter le retournement des voitures aux points terminus.

De plus, une disposition spéciale permet d'envoyer aux contrôleurs, soit le courant du conducteur aérien, soit celui de la batterie, soit simultanément le courant du fil aérien aux contrôleurs en même temps qu'à la batterie, pour son rechargement.

Le freinage s'obtient à l'aide du frein électromagnétique Thomson-Houston ou d'un frein à sabot serré par des vis placées sur les plates-formes d'avant et d'arrière.

Aux essais, la dépense d'énergie, par traction avec accumulateurs, a été par kilomètre-voiture chargée, y compris les arrêts, de 625 watts-heure, soit $\frac{625}{18} = 39$ watts-heure par tonne kilométrique. Ce chiffre extrêmement bas, obtenu pendant les essais, est dépassé en service courant.

L'énergie dépensée correspond, pour un parcours aller et retour de 9,3 *km* dans Paris, à une dépense aux bornes en ampères-heure de :

$$\frac{625 \times 9,3}{400} = 14,51 \text{ ampères-heure.}$$

La capacité utilisable étant, comme nous l'avons dit, de 45 à 48 ampères-heure, on voit qu'il serait facile de faire, sans rechargement, deux voyages aller et retour dans Paris, même avec une voiture de remorque.

Le régime moyen de décharge de la batterie varie entre 25 et 26 ampères sous 420 volts, soit deux ampères par kilogramme d'élément et un travail moyen de 15 *ch* environ.

Le rechargement de la batterie qui, comme nous l'avons dit,

se fait après chaque voyage, pendant le parcours en trolley et pendant le stationnement au point terminus, dure en moyenne 30 minutes. L'intensité du courant au début atteint 80 à 100 ampères, soit 6 à 7 ampères par kilogramme d'élément; au bout de cinq minutes cette intensité tombe à 60 ampères, pour diminuer ensuite jusqu'à 20 ampères jusqu'à la fin de la charge. Ce rechargement se fait donc sous un régime plus modéré qu'aux tramways de Puteaux où les éléments Tudor supportent au début une intensité de courant de charge dépassant 10 ampères par kilogramme, mais où le rechargement s'achève dans le voisinage de 10 minutes.

Quelques observations intéressantes signalées par M. de Marchena dans une communication à la Société Internationale des Électriciens sont à noter. On a remarqué l'affaiblissement graduel de la capacité des plaques à oxyde rapporté. Cette capacité, paraît-il, tombe souvent aux 2/3 de la capacité initiale, au bout de quelques mois.

De plus, l'isolement indispensable des éléments, dans le but d'éviter les dérivations locales, est difficile à obtenir avec les bacs en ébonite et des essais avec une autre matière (ambroine) sont en cours

II — Traction mixte par trolley et conducteur souterrain.

Ce système mixte de traction a, dans ces dernières années, reçu un certain nombre d'applications.

Lorsque le parcours avec fil aérien est très grand, relativement à celui où ce mode de traction devient impossible, par suite des différentes raisons que nous avons signalées, l'emploi de l'accumulateur devient onéreux, à cause du poids supplémentaire qu'il faut forcément remorquer sur un grand parcours et sans aucune utilité, sauf pour le rechargement de cette batterie, ce qui n'exige qu'un temps relativement court.

C'est alors qu'on a pensé pouvoir s'exonérer de cette surcharge, en employant, sur la partie relativement courte du parcours, le conducteur souterrain avec caniveau.

C'est ce mode de traction qui a été appliqué en 1898 sur la ligne Bastille-Charenton et qui a été également appliqué, tout dernièrement, à Berlin, à Dresde et sur de courtes sections des tramways de Lyon.

Avec cette disposition la prise de courant doit se faire d'une

manière différente dans les deux sections de parcours; le trolley pour le fil aérien et un appareil spécial de prise de courant pour le conducteur souterrain. Il faut donc, au point de soudure des deux systèmes, opérer rapidement et simplement ce changement de prise de courant.

Nous allons dire quelques mots de l'appareil qui a été étudié pour la ligne Bastille-Charenton. Mais auparavant, quelques renseignements sur cette ligne sont nécessaires.

Les rails conducteurs aller et retour du courant dans le caniveau sont reliés, au moyen de deux feeders de 125 mm^2, à une batterie d'accumulateurs installée à l'usine centrale de Saint-Mandé et destinés à fournir le courant. Cette batterie à oxydes rapportés, du type de la Société pour le Travail électrique des métaux, se compose de 270 éléments de sept plaques, fournissant un voltage de 500 volts et pouvant débiter 350 à 400 ampères-heure utilisables.

Le courant, destiné aux fils aériens, est fourni par des dynamos à courant continu Thomson-Houston, de 150 kilowatts ; ces dynamos sont compoundées, de manière à obtenir un voltage constant de 550 volts sur toute la ligne. Le retour du courant se fait par les rails, dont les joints sont soudés par le procédé Falk.

Ce sont ces mêmes dynamos qui servent au rechargement des accumulateurs : mais alors l'excitation compound est modifiée et remplacée par une excitation shunt.

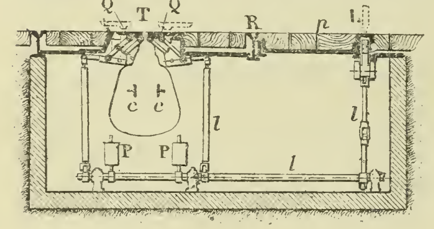
On a appliqué les accumulateurs à l'alimentation des conducteurs souterrains pour plusieurs raisons. D'abord, le mode de retour du courant ne se faisant pas de la même manière pour les deux sections, deux dynamos indépendantes étaient indispensables pour fournir le courant à chacune des sections. De plus, étant donné le peu de longueur du parcours en caniveau, l'énergie électrique à fournir était peu considérable ; les dynamos de 150 kilowatts se trouvaient trop puissantes et une dynamo plus faible eût dû être installée pour ne pas trop affaiblir le rendement. Comme, enfin, pendant la nuit, après l'arrêt du service, il y avait à éclairer l'usine, assurer la manœuvre des voitures dans le dépôt et fournir l'éclairage de la voie publique, dont la Compagnie s'est chargée, on a cru plus judicieux de faire usage de l'accumulateur pour ces différents services.

Revenons maintenant à l'appareil de prise de courant. Cet appareil se compose de deux frotteurs isolés maintenus en contact avec les rails conducteurs au moyen de ressorts semi-elliptiques;

des câbles souples les relient au contrôleur de marche. Ces frotteurs sont placés à la partie inférieure d'un support en fer traversant la rainure du caniveau, et le tout peut être élevé ou abaissé au moyen d'une manivelle placée sur le côté de la voiture. On peut ainsi faire entrer ou sortir du caniveau l'appareil de prise de courant qui reste toujours fixé à la voiture.

Mais comme l'espacement total des frotteurs, dans le sens transversal, est de 0,15 *m*, comme celui des rails conducteurs de courant, il est indispensable, pour faire entrer ou sortir cet appareil du caniveau, qu'une ouverture suffisante puisse être obtenue à la partie supérieure de ce caniveau, à l'endroit et au moment même où cette manœuvre doit se faire. On a donc ménagé, à cet endroit, une fosse dans laquelle est disposé l'appareil représenté figure 34 et qui a pour but de soulever, en les écartant, les deux plaques Q, qui laissent alors le passage nécessaire à l'appareil de prise de courant.

Fig. 34. Tramway à caniveau. Manœuvre des trappes de sortie de la prise de courant



Une disposition à peu près semblable est employée à Berlin ; seulement, dans le sens transversal, l'appareil de prise de courant a une dimension assez faible pour pouvoir être relevé ou abaissé à travers la rainure sans être obligé d'obtenir l'élargissement momentané de celle-ci par un appareil spécial, comme à Paris.

De plus, un plan incliné, placé à l'intérieur du caniveau et à son extrémité, permet le relèvement ou l'abaissement automatique de l'appareil de prise de courant, lorsque la voiture arrive à l'endroit où le changement de prise doit s'opérer.

Les voitures Bastille-Charenton *(fig. 7, Pl. 227)*, sans impériale, contiennent dix-huit voyageurs d'intérieur et dix-huit de plateforme ; leur longueur est de 8 *m* et leur poids de 7 *t*. Elles reposent sur deux essieux actionnés chacun par un moteur Thomson-Houston type 800 à simple réduction. La régulation se fait par la méthode série-parallèle avec une seule résistance pour chaque groupement.

Le freinage s'obtient au moyen d'un frein à main ordinaire ou d'un frein électromagnétique.

III. — Traction mixte par trolley et contacts au niveau du sol.

Ce mode de traction a principalement été appliqué avec le système Diatto, à Tours. Il est également prévu pour les tramways de pénétration de Paris.

Les automotrices de ce système sont facilement disposées de façon à pouvoir circuler indifféremment sur les voies Diatto ou sur les voies à ligne électrique aérienne. Elles sont munies à la fois des deux systèmes de prise de courant, barres aimantées et perche de trolley ; on rabat cette dernière sur le dôme de la voiture lorsqu'on circule sur les voies Diatto. Un commutateur spécial établit la connexion des moteurs, soit avec la perche, soit avec les barres, suivant la section de la ligne sur laquelle on se trouve.

Cette manœuvre est instantanée. Elle n'impose aucune perte de temps et peut même se faire pendant que la voiture est en marche.

La partie du réseau électrique de Tours qui est actuellement livrée à l'exploitation est divisée en deux tronçons, dont l'un est établi suivant le système Diatto, allant de la place du Palais-de-Justice à la barrière de Grammont, et l'autre est exécuté en trolley, à l'extérieur de la ville, entre la barrière de Grammont et Saint-Avertin. Les voitures, à agencement mixte, font le trajet entier, sans rompre charge, de la place du Palais-de-Justice à Saint-Avertin.

Ce système, comme on le voit, est d'une grande simplicité. Reste à savoir quelle sera son endurance et quelles seront les dépenses d'entretien qu'il nécessitera. Un service assez prolongé permettra seul de tirer des conclusions à cet égard et de connaître les développements ultérieurs dont il est susceptible au point de vue de la traction urbaine.

Un autre service mixte a été établi pour le tramway du Bois de Boulogne avec le système Vedevelli et Priestley.

IV. — Traction électrique sur fortes rampes.

Il nous reste à parler des dispositions spéciales à prendre lorsque, sur une ligne de tramway où, sur certaines sections de cette ligne, on rencontre des rampes supérieures à celles qui

peuvent être franchies par l'adhérence seule. Cette rampe-limite est voisine de 100 *mm* par mètre, en supposant, toutefois, que le poids total des véhicules (automotrices et voitures de remorque) serve à l'adhérence (1).

Nous pouvons citer comme exemple *(fig. 35)* le tramway de la côte Sainte-Marie, au Havre, d'une longueur de 750 *m*, où la différence de niveau entre les points extrêmes de 69,54 *m* est rachetée par une rampe continue variant entre 76 et 115 *mm* par mètre. La traction y est faite par simple adhérence et par fil aérien,

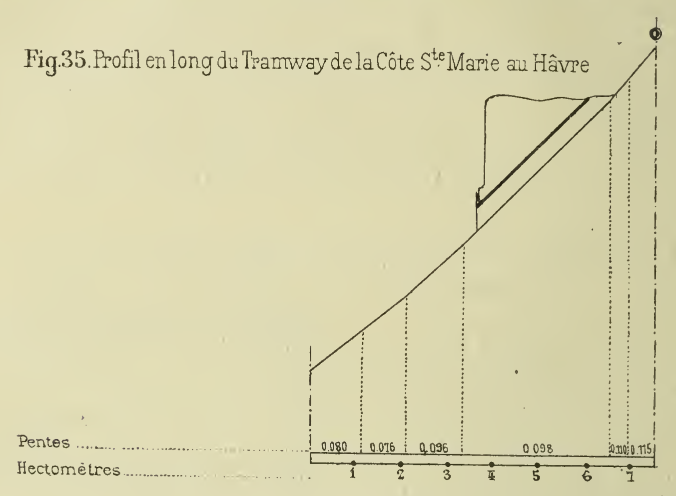


Fig. 35. Profil en long du Tramway de la Côte Ste Marie au Hâvre

avec courant à 550 volts fourni par l'usine de la Société l'Énergie électrique du Havre, distante de 1 600 *m*.

Les automobiles à 50 places, pesant 13 *t* en charge, sont munies chacune de deux moteurs Thomson-Houston de 50 *ch*. En remontant la rampe, l'intensité du courant varie entre 90 et 140 ampères, soit un travail maximum d'environ 100 *ch*.

Le freinage est obtenu au moyen d'un frein magnétique, d'un frein à quatre sabots à vis, d'un frein de sûreté et d'un frein à

(1) Sur le tramway électrique reliant la ville de Laon avec la gare du chemin de fer, se trouve une rampe continue de 762 *m* de longueur et dont l'inclinaison maximum est de 129 *mm* par mètre, avec courbe de 120 *m* de rayon sur 92 *m* de longueur.

Une crémaillère Abt a été établie sur cette section; un pignon denté, placé entre les essieux et actionné, au moyen de chaînes, par les moteurs de la voiture, engrène avec cette crémaillère. Cette transmission de force est la cause de résistances considérables et, après essais concluants, on s'est décidé à supprimer l'emploi de la crémaillère et à remonter la rampe par simple adhérence. C'est le mode d'exploitation suivi depuis l'ouverture. La vitesse à la montée et à la descente est de 12 *km* à l'heure.

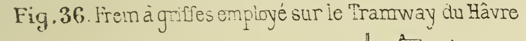
Les deux moteurs du type 53 de la Compagnie Thomson-Houston, sont alimentés par une canalisation aérienne avec trolley, au potentiel de 500 volts. Mis en parallèle à la montée, ces moteurs développent ensemble un effort de 115 *ch* sur la rampe de 129 *mm*. Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, n° d'octobre 1899.)

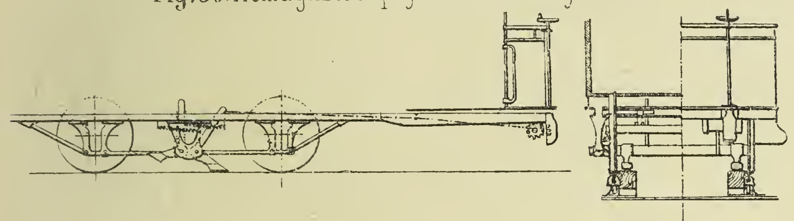
patins, également manœuvré par vis, et pouvant soulever la voiture sur les patins *(fig. 36)*.

La vitesse de la marche est, à la montée, de 12 *km* et à la descente de 8,5 *km* à l'heure.

Au-dessus de cette rampe maximum d'environ 100 *mm* par mètre, il y a lieu d'employer une disposition spéciale.

On peut se servir, comme aux États-Unis, à Providence, à Portland et à San Francisco, d'un câble sans fin enroulé sur une


Fig. 36. Frein à griffes employé sur le Tramway du Hâvre



poulie à la partie inférieure et supérieure de la rampe. Sur un des câbles est fixé un contrepoids destiné à équilibrer le poids de la voiture, soit que celle-ci monte ou descende la rampe; c'est sur le second câble que la voiture est reliée au moyen d'un grip.

On peut également se servir, et c'est le cas le plus général, d'une crémaillère. On emploie alors des moteurs à double réduction, à cause du peu de vitesse sur ces rampes.

Comme exemple, nous citerons le tramway de Barmen, de 1 630 *m* de longueur, avec rampes maximum de 18 0/0, où circulent, au moyen d'une crémaillère Riggenbach, des voitures à deux essieux actionnés par des moteurs à double réduction de 60 *ch*.

Les voitures à 20 places pèsent 9 *t* à vide et le courant est amené aux moteurs au moyen d'un trolley à archet.

La voie étant établie sur chaussée ordinaire, on a préféré se servir de la crémaillère Riggenbach, dont la pose est plus facile dans ces conditions.

La vitesse est de 6,5 *km* à l'heure.

Le freinage est obtenu, soit par le frein électrique, soit par un frein à ruban, manœuvré des plates-formes au moyen d'une vis et agissant sur un tambour cannelé fixé sur l'essieu. De plus, les voitures sont munies d'un frein automatique agissant dès que la vitesse dépasse 3,50 *m* par seconde. Enfin, en cas de déraillement, les roues dentées échappant à la crémaillère, un frein à patins agit sur les rails, en avant des roues.

En dehors des tramways, nous pouvons citer, en Europe, l'application de la crémaillère au chemin de fer électrique de Laon, du mont Salève, à celui de Zermatt-Gornergrat, à celui de Stans à Engelberg et à celui en construction de la Jungfrau.

Dépenses de traction des différents systèmes de tramways mécaniques.

L'établissement des prix de traction n'est pas chose facile. Une foule de circonstances très variables interviennent, et il n'est pas toujours aisé d'en tenir compe d'une manière exacte.

La résistance des voitures ne peut être évaluée que d'une manière assez approximative ; elle dépend de l'état de la voie, de la forme des rails, des dimensions et du graissage des fusées des essieux des voitures, de la suspension de celles-ci, toutes choses dépendantes de la ligne et, parfois même, d'une section de ligne considérée ; elle est donc variable. Il est certain que la résistance est plus grande pour un réseau urbain où les rails à ornière sont toujours la règle, que pour un réseau suburbain où l'emploi du rail Vignoles est fréquent. Néanmoins, comme il était indispensable de prendre une base commune pour les différents systèmes que nous étudions et que, de plus, ce sont les tramways urbains desservant les grandes villes que nous avons en vue, nous avons admis, en nous basant sur des expériences et des résultats pratiques, une résistance de 13 *kg* par tonne en palier pour les automotrices et 8 *kg* pour les voitures de remorque.

Ce sont du reste, croyons-nous, les chiffres admis par la Compagnie Générale des Omnibus.

En plus de cette résistance en palier, il faut tenir compte *des résistances supplémentaires* qui varient avec le tracé et le profil de la ligne, avec les démarrages, etc.

Cette résistance supplémentaire atteint sur certaines lignes très accidentées desservant des rues fréquentées, le chiffre de 4 *kg* par tonne. Nous n'avons cependant pas cru devoir prendre ce chiffre, un peu exceptionnel et nous avons admis une résistance supplémentaire de 3 *kg* par tonne.

C'est donc le chiffre, de 13 *kg* + 3 *kg* = 16 *kg* que nous avons pris comme base, pour la *résistance totale* des divers systèmes d'automotrices que nous examinons.

Ce chiffre, selon nous, est une bonne moyenne pour le réseau urbain d'une grande ville et un maximum, rarement atteint, pour un réseau suburbain.

Pour les voitures, nous avons admis une capacité de 50 places et, comme poids, celui des voitures actuellement en service pour le système considéré.

C'est en partant de ces bases que nous avons établi les *frais de traction* pour les divers systèmes dont l'usage est aujourd'hui le plus répandu, au moins à Paris. Bien que la locomotive sans foyer semble s'appliquer plus spécialement, selon nous, aux lignes suburbaines et secondaires, nous avons cependant donné le prix de revient de ce système que nous avons sous les yeux dans Paris entre la place de l'Étoile et la porte Maillot. Quant au système funiculaire, applicable seulement dans des cas exceptionnels : intensité excessive de trafic, jointe à de très fortes rampes, nous l'avons intentionnellement laissé de côté, ainsi que les tramways à gaz dont l'emploi est encore trop restreint et sur lesquels les renseignements sont insuffisants pour établir un chiffre exact représentant les frais de traction.

Nous ne nous sommes occupés que des frais de traction proprement dits, en laissant de côté les dépenses résultant de l'*amortissement et de l'intérêt des capitaux engagés*, dépenses qui, bien entendu, doivent entrer en ligne de compte. Mais ces dernières dépenses sont trop variables, suivant les circonstances, pour qu'on puisse les établir d'une manière équitable en vue d'une *comparaison générale*. Le prix des terrains occupés par les usines centrales, les ateliers, etc., varie trop d'un endroit à un autre pour être estimé autrement que dans un cas particulier. Les bâtiments eux-mêmes varient d'importance et d'étendue suivant les cas; leur prix de construction est extrêmement variable et délicat à apprécier. Il en est de même des machines productrices de l'énergie, ainsi que de l'outillage des ateliers. Nous estimons, cependant, qu'on peut admettre, suivant le système de traction adopté, un chiffre variant de 0,10 *f* à 0,20 *f* par kilomètre-voiture, pour les dépenses afférentes à l'amortissement et à l'intérêt du capital engagé.

Ceci posé, nous chercherons à établir, aussi exactement que possible, les *frais de traction* par kilomètre-voiture, des systèmes les plus répandus à l'heure actuelle, en supposant toujours qu'il s'agit de traction urbaine. Nos chiffres représenteront donc des maxima pour des réseaux suburbains.

Nous suivrons, pour cela, le même ordre que celui que nous venons d'adopter pour la partie descriptive de notre étude.

1° Système Rowan.

Le poids de la voiture étant de 14,7 *t*, en admettant un rendement de 80 0/0 pour le moteur à vapeur, le travail en chevaux à produire par kilomètre-voiture sera :

$$\frac{14{,}7 \times 16 \times 1\,000}{270\,000 \times 0{,}80} = 1{,}09 \ ch.$$

La consommation de coke étant de 2,50 *kg* par cheval, nous aurons une consommation par kilomètre-voiture de :

$$1{,}09 \times 2{,}5 = 2{,}73 \ kg.$$

La dépense de traction par kilomètre-voiture se décomposera alors ainsi qu'il suit :

Combustible : 2,73 *kg* à 0,04 *f*	0,109 *f*
Huile, graissage et eau	0,015
Entretien du matériel roulant, moteurs, ateliers, personnel des ateliers, etc	0,110
Salaire du mécanicien.	0,080
Dépense de traction par kilomètre-voiture.	0,314 *f*

2° Système Serpollet.

Une voiture de 50 places pesant 14,80 *t* et le rendement du moteur pouvant être admis de 75 0/0, le travail en chevaux, par kilomètre-voiture, sera :

$$\frac{14{,}80 \times 16 \times 1\,000}{270\,000 \times 0{,}75} = 1{,}17 \ ch.$$

La consommation de coke étant de 2 *kg* par cheval, nous aurons par kilomètre-voiture la consommation suivante :

$$1{,}17 \times 2{,}00 = 2{,}34 \ kg.$$

La dépense de traction par kilomètre-voiture s'établira donc comme il suit :

Combustible : 2,34 *kg* à 0,04 *f*	0,094 *f*
Huile, graisse et eau	0,020
Entretien du matériel roulant, moteurs, ateliers, personnel des ateliers	0,150
Salaire du mécanicien.	0,080
Dépense de traction par kilomètre-voiture.	0,344 *f*

3° Système Lamm et Francq.

Nous admettrons, pour établir le prix de traction, que le train se compose normalement de trois voitures pesant chacune 8 *t*, remorquées par une locomotive pesant 16 *t*, soit un poids total de 40 *t*. Cette composition est, d'ailleurs, celle du train type du tramway de la place de l'Étoile à Saint-Germain.

Nous prendrons, comme précédemment, une résistance totale par tonne de 16 *kg* pour la locomotive et de $(8 + 3) = 11$ *kg* pour les voitures remorquées. Le rendement de l'appareil moteur de la locomotive est supposé égal à 85 0/0.

La force en chevaux développée par kilomètre parcouru sera :

$$\frac{(24 \times 11 + 16 \times 16)\,1\,000}{270\,000 \times 0{,}85} = 2{,}26\ ch,$$

et comme la quantité de charbon nécessaire pour produire un cheval-vapeur, dans la chaudière de l'usine centrale, peut être estimée par expérience à 3,12 *kg*, la dépense de combustible par kilomètre-train sera : $2{,}26 \times 3{,}12 = 7{,}05$ *kg*.

Les frais de traction pourront alors être établis comme il suit :

Combustible : 7,05 × 0,025 *f*	0,176 *f*
Graissage, nettoyage	0,020
Entretien du matériel de traction et roulant, ainsi que de celui de l'usine centrale, salaire du personnel des ateliers.	0,130
Salaire des mécaniciens.	0,080
Dépense de traction par kilomètre-*train*. .	0,406 *f*

Il y a lieu de remarquer que cette dépense est rapportée au kilomètre-*train*, composé de trois voitures contenant chacune 52 places, soit en tout 156 voyageurs.

4° Système par l'Air comprimé.

Avec une résistance de 17,65 *kg* par tonne qui est celle de la ligne de « Vincennes-Saint-Augustin » et un poids de voiture de 14 *t*, la consommation d'air par kilomètre est de 10,35 *kg*. Le travail produit à la jante des roues, par kilogramme d'air, est de 23 874 *kgm*.

Dans notre cas, avec une résistance de 16 *kg* par tonne, nous aurons une consommation d'air par kilomètre de :

$$\frac{14 \times 16 \times 1\,000}{23\,874} = 9{,}39\ kg.$$

Le prix de revient de la tonne d'air comprimé à 60 *kg*, amortissement non compris, est de 18 *f*. Ce prix s'applique à Paris; il comprend le combustible, l'eau, le graissage, le personnel et la main-d'œuvre, ainsi que les pertes dans la canalisation, la main-d'œuvre de chargement et de réchauffage de l'air. La dépense par kilomètre-voiture pesant 14 *t*, se décompose alors ainsi :

Dépense d'air comprimé : 9,39 *kg* à 0,018 *f*.	0,169 *f*
Entretien du matériel roulant, moteurs, graissage	0,110
Salaire du mécanicien	0,080
Dépense de traction par kilomètre-voiture.	0,359 *f*

5° Système par Trolley.

En admettant 10 *t* pour le poids d'une voiture à 50 places et un rendement total de 44 0/0 entre l'effort à la jante des roues de la voiture et celui produit par la machine à vapeur de l'usine, chiffre qui représente une moyenne, en tenant compte des variations considérables d'efforts produites sur la ligne, on aura comme force en chevaux à produire à l'usine par kilomètre-voiture :

$$\frac{16 \times 10 \times 1\,000}{270\,000 \times 0{,}44} = 1{,}346 \; ch,$$

ce qui représente, en watts-heure :

$$1{,}346 \times 75 \times 9{,}80 = 1 \text{ kilowatt-heure.}$$

Nous admettrons comme prix du kilowatt-heure le chiffre de 0,08 *f*, la valeur réelle des chiffres variant de 0,06 *f* à 0,10 *f* suivant l'importance de l'usine génératrice, d'après les renseignements qu'a bien voulu nous fournir M. de Marchena.

La dépense totale par kilomètre-voiture se décomposera donc comme il suit :

Force motrice : 1 kilowatt-heure à 0,08 . . .	0,08 *f*
Entretien et réparation des voitures et moteurs.	0,05
Salaire du wattman	0,08
Dépense de traction totale par kilomètre-voiture.	0,21 *f*

A ce chiffre, il nous paraît nécessaire et équitable d'ajouter le prix d'entretien du fil aérien qui doit entrer dans les frais de traction. En estimant cette dépense à 0,01 par kilomètre-voiture, on obtient le chiffre total de 0,22 *f*.

6° Système par Accumulateurs.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, les frais de traction des voitures à accumulateurs électriques peuvent s'établir comme il suit :

En admettant un rendement total de 40 0/0 entre la jante des roues et le cylindre de la machine à vapeur de l'usine centrale, et un poids de 16 *t* pour automotrice, on a une force motrice en kilowatts, par kilomètre-voiture de :

$$\frac{16 \times 16 \times 75}{27 \times 0,4} = 1,78 \text{ kilowatts-heure.}$$

Au prix de 0,38 *f* le kilowatt-heure on a ainsi :

Force motrice.	0,142 *f*
Entretien et manutention des accumulateurs .	0,100
Entretien et réparations des voitures et des moteurs.	0,050
Salaire du watmann	0,080
Dépense de traction totale par kilom.-voit. .	0,372 *f* (1)

Nous ajouterons que la Société de Traction a entrepris à forfait, pour le prix de 0,40 *f* par kilomètre-voiture, la traction de la ligne Saint-Denis-Opéra. Le prix forfaitaire pour la ligne de la Madeleine-Courbevoie-Neuilly est de 0,38 *f* par kilomètre-voiture.

Le tableau suivant résume les différents *prix de traction* dont nous venons d'indiquer le détail. Nous les avons classés en commençant par le prix le plus bas.

Trolley	0,220 *f*
Rowan	0,314
Serpollet.	0,344
Air comprimé	0,359
Accumulateurs.	0,372
Lamm et Francq	0,406

Ce dernier chiffre est rapporté au train-kilomètre contenant 156 voyageurs.

(1) Prix rectifié après discussion.

DEUXIÈME PARTIE

VÉHICULES SUR ROUTES

Bien que toute récente, la question des transports en commun sur routes a déjà pris une place assez importante pour qu'il soit utile d'en faire l'objet de la deuxième partie de notre étude.

Chaque année, la Société a été tenue au courant des progrès des voitures automobiles lourdes destinées aux transports en commun, principalement par le compte rendu des concours de l'Automobile-Club de France, qu'en a fait, devant elle, M. l'Inspecteur général Forestier, Président de la Commission technique de cette Société d'encouragement.

Ces concours nous ont montré comment se comportaient des omnibus, des camions, des trains automobiles, dans des conditions se rapprochant de la pratique par certains points. En effet, M. Forestier indiquait que, à l'encontre de ce qui se fait dans les concours automobiles de Liverpool, les véhicules chargés devaient recommencer un nouvel itinéraire plusieurs fois, afin de déterminer des moyennes aussi exactes que possible; en 1897 et 1898, les voitures parcouraient deux fois chacun des trois itinéraires; cette année, ceux-ci ont été réduits à deux, qui ont été parcourus chacun trois fois.

Cependant les calculs du prix de revient qu'indiquent les rapports ne peuvent être basés actuellement que sur des chiffres encore un peu théoriques. Les transports en commun n'existent-ils donc pas en réalité ? Nous allons montrer, au contraire, qu'il se crée dans toute la France des services publics, mais ils n'ont pas encore une assez longue existence pour que leurs résultats soient publiés et qu'on puisse en tirer profit.

Nous voulons d'abord faire l'exposé de ce qui a été fait depuis deux ans comme services publics par automobiles sur routes.

Chapitre Premier

Services publics par automobiles.

Depuis le concours des Poids Lourds d'août 1897, un certain nombre de services publics pour le transport des voyageurs et

même des marchandises ont été créés. Quelques-uns. il est vrai, établis à titre d'essai, ont déjà cessé d'exister, mais c'est là une particularité fondamentale du service par automobiles qu'il peut se transporter en une autre région sans frais importants, puisque rien ou presque rien ne l'attache à un parcours déterminé.

Pour montrer que les services publics ne sont pas un mythe, nous donnons la liste (que nous avons essayé de mettre par ordre d'ancienneté) des principales Sociétés qui ont pour but ces services :

1° *Société des Voitures Scotte* qui a créé, en 1897, le premier service public entre le pont de Courbevoie et Colombes, durée 14 mois ;

2° *Société d'Études d'Omnibus et de Voitures automobiles*, fondée en 1898 ;

3° *Société Générale de Transports publics automobiles* dans la Drôme, l'Ardèche, la Gironde, la Seine-et-Marne, etc. ;

4° *Entreprise de Transports par automobiles « La Provençale »*, service d'Aix à Salon et Cavaillon ;

5° *Société des Automobiles de Franche-Comté*, siège à Quingey, près Besançon ;

6° *Compagnie Française des Trains routiers*, service à Saint-Brieuc ;

7° *Société des Transports automobiles de Chalon-sur-Saône ;*

8° *Société anonyme des Automobiles meusiennes*, service de Stenay à Montmédy ;

9° *Société des Transports automobiles de la Haute-Saône et extensions*, service entre Port-d'Atelier et Passavant ;

10° *Société anonyme Stéphanoise de Traction automobile*, à Saint-Étienne ;

11° *Compagnie d'Omnibus et de Transports automobiles*, à Melun ;

12° *Société des Automobiles du Sud-Ouest*, à Barbezieux ; cette Société au capital de 600 000 *f* est en formation ;

13° *Compagnie Générale des Services municipaux et départementaux ;*

14° *Société des Automobiles de la Côte-d'Or*, à Dijon, service d'essais ;

15° *Société Franco-Russe*, dans le Var ;

16° *Sociedad anonyma de Automobil Vitoriana*, à Vittoria, etc., etc.

Ces Sociétés, et d'autres dont nous n'avons pu relever le nom exact, des particuliers même ont organisé des services publics pour les transports en commun que nous allons passer rapidement en revue par départements :

Alpes-Maritimes. — Un vaste réseau est en voie d'organisation autour d'Antibes, de Nice et de Menton. Une voiture de Dion-Bouton circule de Monte-Carlo à Menton à titre d'essais.

Ardèche. — Des essais ont été faits, dès 1897, dans ce département au moyen de trains Scotte; puis en 1898, ils ont été repris et l'on se propose d'établir les services suivants :

1° Pont de Labeaume, Vals, Aubenas, Largentière, Saint-Paul-le-Jeune (35 *km*); 2° Bellevue, Barjac, Bessèges (28 *km*); 3° Montélimar, Le Teil, Viviers (8 *km*).

Ardennes. — Un service d'automobiles a fonctionné entre Sedan et Bouillon (Belgique); les voitures à 20 places étaient du type anglais Lifu; moteur à vapeur de 25 *ch*; chaudière chauffée au combustible liquide.

Aube — Un service est en organisation d'Arcis-sur-Aube à Brienne (34 *km*) pour voyageurs et marchandises; l'exploitation se fait au moyen de trains Scotte.

Bouches-du-Rhône. — Une des entreprises d'automobiles qui donne les résultats les plus rémunérateurs est celle de la Provençale organisée par M. Mas. La ligne d'Aix-en-Provence à Salon a une longueur de 39 *km*; elle dessert le bourg important de Lambesq; elle doit être prolongée de Salon à Cavaillon (Vaucluse).

Le service se fait au moyen de trois omnibus de Dion-Bouton (*fig. 12, Pl. 227*) de 30 *ch*, à 22 places, réparties en deux classes. En semaine, deux voitures sont en route, elles font chacune trois trajets simples, soit au total 108 *km* par jour; le dimanche on fait circuler la troisième voiture de réserve. L'exploitation est rémunératrice parce que le trafic est à peu près le même dans les deux sens, que le coke n'est pas cher et que l'eau d'alimentation est très pure, ce qui permet de n'effectuer le nettoyage de la chaudière qu'à de longs intervalles.

Calvados. — Service régulier depuis le 1er décembre 1898 entre Condé-sur-Noireau et Vire par Vassy (27 *km*), deux omnibus à 22 places de Dion-Bouton; un service de marchandises a été effectué au moyen du camion tracteur de 10 *t* qui a figuré aux concours des Poids Lourds de 1898 et 1899.

Un autre service, mais qui n'a lieu qu'en été, a été organisé entre Trouville et Villers, au moyen de trains Scotte (longueur 9 *km*).

Charente. — Au commencement de cette année a été créée la Société des Automobiles du Sud-Ouest, qui a obtenu la concession de douze à quinze lignes dans le département de la Charente; ces lignes rayonnent autour d'Angoulême et de Barbezieux. Les voitures, d'un type spécial, sont à vapeur, chauffées au coke; elles contiennent 20 places d'intérieur et 4 de plateforme avec galerie pour les bagages; le premier spécimen est en essai; la Société compte commencer ses exploitations au printemps de 1900.

Côte-d'Or. — Un service est en organisation à Dijon, Gevray et Nuits; un service d'essai a été fait au moyen de trains Scotte entre Dijon et Gevray-Chambertin.

Drôme. — Un service régulier s'effectue de Valence à Crest sur une longueur de 30 *km* au moyen de trains Scotte. Des services sont en organisation de Montélimar à Crest (20 *km*) et à Nyons (25 *km*).

Deux-Sèvres. — Des essais satisfaisants ont été faits à Niort par la Compagnie des Voitures Scotte, mais nous ne pensons pas qu'un service soit encore créé.

Doubs. — A la fin de 1898, un service a été concédé entre Salins et Besançon avec un prolongement jusqu'à Marchaux (48 *km* environ). Le trafic doit s'effectuer au moyen de trois voitures de Dion-Bouton à 16 places.

Eure. — Service entre Gaillon et Vernon en projet.

Gironde. — Les trains Scotte circulent dans la Gironde, depuis mars 1899, de Libourne à Saint-André-de-Cubzac (20 *km*) et de Libourne à Guitres (15 *km*). La Société exploitante a demandé au département d'étendre son réseau autour de Bordeaux.

Hautes-Alpes. — Le 15 décembre dernier a été donnée la concession de la gare de Prunières à la Condamine-Chatelard par Barcelonnette (53 *km*). Cette ligne de montagne sera desservie par des omnibus de Dion-Bouton.

Haute-Marne et Marne. — Un service de Vitry-le-François à Saint-Rémy-en-Bougemont (Marne) et Éclaron (Haute-Marne) est en voie d'organisation, les subventions ont été votées.

Haute-Saône. — Un service de trains Scotte fonctionne depuis plusieurs mois de Port-d'Atelier à Passavant (32 *km*).

Loire. — Des services sont en voie de création aux environs de Saint-Étienne; cinq voitures de 22 places sont en construction chez de Dion-Bouton.

Meuse. — D'intéressants essais ont été faits par le service des Ponts et Chaussées dans la Meuse, au moyen de trains Scotte, pendant les hivers 1896 et 1897. Depuis avril 1899 fonctionne le service de Stenay à Montmédy (19 *km*) au moyen de deux omnibus de Dion-Bouton de 25 *ch*, faisant un trajet journalier de 60 *km* environ; une troisième voiture de rechange de 30 *ch* fait le service le dimanche.

Saône-et-Loire. — Un service a été inauguré en août 1898 entre Chalon-sur-Saône et Bourgneuf (*fig. 11*, *Pl. 227*), il est exploité au moyen de trains Scotte. Le service se fait maintenant entre Chalon et Couches-les-Mines.

Seine et Seine-et-Oise. — Nous avons vu plus haut que, en 1897 et 1898, pendant quatorze mois, un service a fonctionné du pont de Courbevoie à Colombes; il était assuré par deux trains Scotte avec un troisième de rechange.

Un service de gare se fait le dimanche entre la gare de Morsang-sur-Orge et le parc Beauséjour, au moyen d'un grand omnibus à impériale de Dion-Bouton, qui a même obtenu l'autorisation de circuler dans Paris. Cet omnibus, muni d'un moteur de 50 *ch*, remorque un autre omnibus soit un poids utile de 10 *t*.

Seine-et-Marne. — Des services d'été sont organisés de Fontainebleau à Barbizon (13 *km*) et de Fontainebleau à Marlotte (14 *km*) depuis août 1899. Les trains Scotte assurent ce service. Une série d'autres services sont en organisation autour de Melun.

Var. — La Compagnie des Tramways du Var et du Gard qui exploite notamment les tramways électriques de Toulon, a créé, au commencement de 1899, divers services d'omnibus automobiles de Dion-Bouton entre Toulon et le cap Brun. Des services entre Hyères, Toulon et Saluce sont également exploités au moyen d'omnibus de Dion-Bonton.

On a mis en service sur ces lignes deux omnibus ordinaires et trois grands omnibus à impériale de Dion-Bouton analogues à celui de Paris-Beauséjour.

Un autre service va être inauguré, s'il ne l'est déjà, de Draguignan au Muy (13 *km*) et de Draguignan à Vidauban (18 *km*) au moyen de trains Scotte.

Enfin, un service est projeté au moyen d'omnibus de Dion-Bouton entre Toulon et Draguignan.

Yonne. — Un service est organisé entre Sens, Nogent-sur-Seine (Aube) et Villenauxe au moyen de véhicules Scotte.

Algérie. — Des trains Scotte font un service d'essai depuis plusieurs mois dans la province de Constantine, principalement pour les transports de marchandises.

Étranger.

Espagne. — Service d'Irun à Pampelune, par Elizondo, traversée des Pyrénées, 106 *km*, service en exploitation au moyen de 7 omnibus de Dion-Bouton de 16 places, 25 *ch*. Un service de Pampelune à Estella est également en fonctionnement.

Service de Vittoria à Lemona (15 *km* de Bilbao par chemin de fer), trajet montagneux de 80 *km* environ; 4 omnibus de 16 places, de Dion-Bouton, viennent d'être mis en service; poids 4 200 *kg*.

On annonce la création d'un service entre Figueras et Rosas (province de Gerona), par des omnibus à 9 places; moteur 8 *ch*, au sujet desquels nous n'avons pas d'autres renseignements.

Angleterre. — Service par trains Scotte de Cevoinster à Fairford (13 *km*).

Autriche. — Service de 26 *km*, à Edlitz, assuré par un omnibus de Dion-Bouton.

Grand-Duché du Luxembourg. — Réseau général en vue d'organisation pour remplacer les antiques diligences encore en usage.

Italie. — Service en organisation à Milan.

Services de ville. — Tous les services que nous venons de mentionner sont suburbains, c'est-à-dire qu'ils desservent des localités éloignées entre elles de plusieurs kilomètres; peu d'essais ont été faits jusqu'ici dans des villes, parce que le problème est plus complexe.

Cependant, il convient de citer que la Compagnie des Tramways et Omnibus de Bordeaux, a mis à l'essai des omnibus automobiles à l'intérieur de la ville.

A Paris, il a été question de créer des omnibus électriques pour le service de la gare Saint-Lazare, mais il ne s'agissait ici que de petits omnibus pour 4 ou 6 voyageurs et leurs bagages, faisant un parcours journalier de 150 *km*.

En Allemagne, quelques essais ont été faits, tout dernièrement, avec un omnibus électrique de 18 places pesant 5 *t* en charge. Les roues d'arrière sont motrices, chacune d'elle est actionnée par un moteur Siemens et Halske. La direction se fait par un petit servo-moteur électrique qui agit sur le train d'avant. La batterie du type Pollack est rechargée aux stationnements au moyen d'archets prenant le courant des tramways de la ville.

En Angleterre, des essais ont été faits à Londres, en 1898 et 1899 et un service a été créé en septembre dernier entre Kennington Gate et Victoria Station, avec trois voitures de 26 places mues par moteurs Daimler de 12 *ch*.

L'omnibus à vapeur D. Martyn contient 25 à 30 places ; les voyageurs sont placés dos à dos, comme sur les impériales de nos tramways, les banquettes servent de réservoir d'eau. La chaudière tubulaire, la soute à coke et le moteur pilon à deux cylindres, sont placés à l'arrière, les transmissions se font aux roues d'arrière par des chaînes Galle. Signalons enfin l'omnibus norvégien Irgens à avant-train moteur-directeur d'une forme originale.

Tel est l'exposé aussi complet que possible des services publics par automobiles organisés, ou en voie d'organisation en France et à l'Étranger ; nous constatons avec plaisir, que la plus grande partie des véhicules en service sortent des maisons de construction françaises de MM. de Dion et Bouton et de la Société des Voitures Scotte.

Chapitre II

Description des divers Véhicules employés.

Nous ne ferons pas une description détaillée des divers véhicules en usage pour les transports en commun sur routes, parce que nos Collègues ont pu trouver des renseignements intéressants à ce sujet dans les rapports des Concours des Poids Lourds de 1897, 1898, et ils en trouveront dans celui de 1899, quand il sera publié.

Observons, d'abord, que les véhicules à voyageurs sont très analogues souvent aux véhicules à marchandises, dont ils ne diffèrent que par la multiplication du mouvement. Par exemple :

Les trois véhicules de Dion et Bouton, de 1898, étaient à peu près pareils au point de vue mécanique, leurs machines et leurs

chaudières étaient du type 30 *ch*, leurs vitesses commerciales moyennes étaient de 14,8 *km*, 13,8 *km* et 11,1 *km*.

La voiture de livraison Panhard et Levassor, de 1898, était assez comparable à l'omnibus des mêmes constructeurs de l'année suivante ; l'un et l'autre étant destinés à porter 1 000 *kg* de charge, les mécanismes étaient très analogues.

Les trains Scotte, à voyageurs et à marchandises, étaient analogues comme mécanismes moteurs ; leurs vitesses moyennes, en 1897, ont été 10,5 *km* et 7 *km* à l'heure, leurs charges respectives de 2 500 et 4 200 *kg*.

Nous ne ferons donc qu'énumérer les véhicules de la locomotion sur routes pour poids lourds, en notant simplement les améliorations les plus récentes des véhicules destinés au transport en commun des voyageurs.

A titre historique, il convient de rappeler que, dès 1894, prenaient part aux courses du *Petit Journal*, trois véhicules destinés aux transports en commun : le tracteur de Dion-Bouton, le break Le Blant et l'omnibus Scotte, sans que nous puissions indiquer quel système a le droit de priorité.

Voici la liste des véhicules qui ont été construits pour les Poids Lourds :

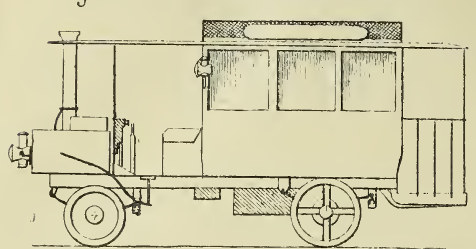
1° Omnibus ou Breaks à vapeur des systèmes :	Cambier. Chaboche. de Dion-Bouton. Gandon. V. Purrey. Scotte. Serpollet, Weidkneicht.
2° Omnibus ou Breaks à essence :	de Dietrich. Panhard et Levassor. Roser-Mazurier.
3° Trains à vapeur système :	Le Blant. Scotte.
4° Divers systèmes étrangers.	

I. — Omnibus de Dion-Bouton (*fig. 37*). — Chaudière à tubes d'eau rayonnants à grande vaporisation, permettant les élévations rapides de pression qui favorisent les coups de collier ; chauffage au coke de gaz ordinaire par une trémie centrale. La vaporisation

moyenne de la chaudière de 6,4 m^2 de surface de chauffe à la pression de 14 à 18 *kg*, est de 450 *kg* d'eau à l'heure.

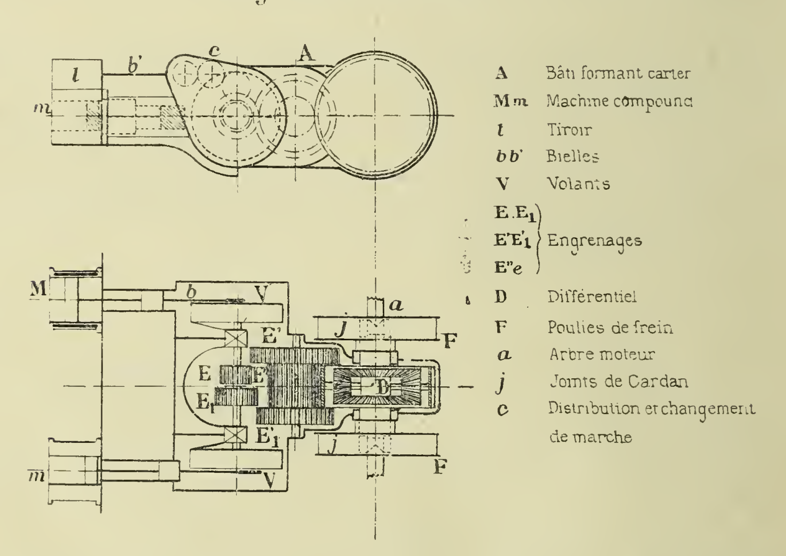
Cette chaudière est munie à sa partie inférieure, autour du foyer, d'un surchauffeur de vapeur vive constitué par un serpentin en fer noyé dans une masse de fonte afin d'assurer un grand volant de chaleur tout en empêchant la détérioration du serpentin. Pour les services de ville, on munit également la chaudière d'un surchauffeur d'échappement supprimant le panache de vapeur.

Fig. 37. Omnibus De Dion et Bouton (*Schéma*).



Machine horizontale *(fig. 38)* à deux cylindres compound de deux types :

Fig. 38. Mecanisme de Dion



A. Type 25 *ch*	Diamètre des cylindres,	110 et 170 *mm*
—	Course des pisons,	120 *mm.*
B. Type 30 *ch*	Diamètre des cylindres,	100 et 190 *mm*
—	Course des pistons,	160 *mm.*

Vitesse par minute : 600 tours.

Pression moyenne : 14 *kg*.

D'année en année, les constructeurs améliorent la construction de leurs véhicules. Citons notamment parmi les derniers perfectionnements :

Les doubles presses-étoupes des cylindres empêchant toute introduction d'eau dans le carter de graissage. La cémentation des tiges de piston pour prévenir tout grippage. Presses-étoupes en fil de cuivre, etc.

II. — Omnibus Serpollet. — Cet omnibus à 14 places, a paru au Concours des Poids Lourds de 1898; il est caractérisé par son mode de production de la vapeur. La chaudière est à vaporisation instantanée, du système que nous avons décrit pour les tramways; sa surface de chauffe est de 7 m^2 et son volume d'eau total de 7 à 8 *l* seulement. Le combustible est de l'huile lourde de goudron de gaz brûlée dans des appareils injecteurs spéciaux. La vaporisation est de 200 *kg* de vapeur surchauffée à l'heure; on dépense un litre de combustible pour vaporiser 10,3 *l* d'eau.

III. — Omnibus Scotte. — Au Concours des Poids Lourds de 1897, un omnibus Scotte a satisfait aux épreuves ; sa vitesse commerciale a été de 11 *km* à l'heure, sa charge utile étant de 1 200 *kg*.

IV. — Omnibus Weidkneicht. — Nous avons vu dans les ateliers de ce constructeur plusieurs omnibus analogues à celui qui a pris part au Concours des Poids Lourds de 1897, mais sans impériale *(fig. 9, Pl. 226)*. Nous n'avons pu savoir où ils avaient été mis en service, mais en juin 1899, l'un d'eux a eu un assez grave accident près de Roanne.

La principale caractéristique de ces omnibus est la direction par les roues d'arrière. Ils sont destinés au transport de 15 voyageurs avec bagages, soit 150 *kg* de charge utile, pesant à vide 4800 *kg;* la chaudière bien étudiée à 6 m^2 de surface de chauffe et le moteur à vapeur horizontal, une force de 20 *ch;* la vitesse de la voiture en palier est de 14 à 15 *km* à l'heure.

V. — Omnibus Cambier. — La maison Th. Cambier, de Lille, construit des omnibus à vapeur à impériale ou diligence de 22 places, dont 12 d'impériale ; elle avait d'abord essayé de résoudre le problème au moyen de moteur à essence, à 3 cylindres, mais a dû s'en tenir à la vapeur.

Le moteur est compound, de 15 à 18 *ch*, mais il peut marcher à pleine admission et fait alors une force de plus de 20 *ch*. Les

dimensions de la voiture sont 5 *m* × 2.47 *m*, voies de 2,08 *m*, empattement 2,85 *m*. Le poids en ordre de marche à vide est d'environ 5 *t*; la vitesse en palier est de 10 à 12 *km* à l'heure.

VI. — Break a essence de Diétrich. — MM. de Diétrich, de Lunéville, peuvent disposer leurs véhicules à marchandises en forme de breaks; on trouvera tous les renseignements utiles à ce sujet dans les rapports des concours de 1898 et 1899.

VII. — Omnibus Panhard et Levassor. — En 1899, au concours de Versailles, a circulé avec succès un élégant omnibus Panhard et Levassor qui a fourni une marche satisfaisante et régulière; on trouvera, par conséquent, tous les renseignements utiles dans le Rapport officiel de cette année.

VIII. — Omnibus Roser-Mazurier. — Ce système est caractérisé par un moteur compound, à 3 cylindres, utilisant dans deux des cylindres un mélange explosif produit au moyen de l'essence du commerce; sa puissance est de 9,5 *ch* à 550 tours. Cet omnibus a donné des résultats très économiques. (Voir Rapport des Poids Lourds 1898.)

IX. — Tracteurs Le Blant. — M. Le Blant a étudié depuis 1893, la question de la traction sur routes, au moyen de Tracteurs simples, véritables locomotives routières à vapeur, n'utilisant pas pour l'adhérence le poids de la charge.

Nous ne reviendrons pas sur le principe de ces véhicules qui ont été souvent décrits et qui ont fonctionné publiquement à différentes reprises. Nous avons vu qu'un service assez important avait été assuré dans les Côtes-du-Nord par les trains routiers du système Le Blant.

Les tracteurs *(fig. 10, pl. 226)* sont munis de chaudière tubulaire Niclausse, de 10 ou 16 m^2 de surface de chauffe, timbrée à 25 *kg*; le volume d'eau est d'environ 220 *l* en moyenne, grâce à un réservoir supérieur; l'inclinaison des faisceaux tubulaires est de 18 0/0 sur l'horizontale; les dimensions de la chaudière sont 1,51 *m* × 0,99 *m*, hauteur 1,30 *m*, elle est munie d'une grille de 79,66 cm^2 de surface avec partie mobile pour le décrassage.

Le moteur, d'une force de 30 *ch* à 10 *kg* de pression et à la vitesse de 200 tours, a les dimensions suivantes :

Diamètre des cylindres	180 *mm*
Course des pistons	200 —

Les roues motrices ont un diamètre de 0,90 *m*, elles sont mues par chaîne Galle, la largeur de leur bandage est de 115 *mm*; voies des roues motrices, 1,42 *m*.

X. — Trains Scotte. — Le tracteur-porteur à vapeur Scotte *(fig. 39)* est d'un système bien connu qui comporte une chaudière genre Field et une machine-pilon placées à l'avant, avec une

Fig. 39. Omnibus Scotte

A Chaudière
M Machine
e Engrenages
c Chaînes
a.a' Pompes alimentaires
R Combustible
l Caisses à eau
D Direction
b Bielles de réglage

transmission par trois chaînes Galle. A la vitesse de 400 tours avec une pression de 14 *kg*, la machine développe :

à 35 0/0 d'admission	. . . .	19 *ch*
75 0/0 —	. . . .	27 —

A cette même vitesse du moteur correspondent les vitesses théoriques de marche de 5,2 *km* et de 8,2 *km* à l'heure.

Le tracteur du poids de 5 300 *kg* en charge contient 11 places, il remorque une voiture de 15 places, ce qui fait un poids total en charge de 9 500 *kg*.

La longueur du train est de 10 *m* environ, la largeur 1,75 *m*, les voies des roues du tracteur sont de 1,60 *m* et de 1,75 *m*.

Le système Scotte a le mérite d'une grande rusticité d'organes, la pratique a montré qu'il était susceptible d'être utilisé avec succès pour les services publics.

XI. — Système V. Purrey. — Ce système à vapeur qui s'applique également aux omnibus, n'a été utilisé jusqu'à présent que sur

des tramways à vapeur (Compagnie Générale des Omnibus, voir plus haut) et sur un camion ayant figuré au Concours des Poids Lourds de 1899.

Il comprend une chaudière genre de Temple, aquatubulaire chauffée au coke, qui peut être rapidement mise en pression et d'encombrement minime. Le moteur à deux cylindres inclinés est de la force de 30 *ch*. Le poids à vide est de 3 *t*, la charge utile transportée de 5 *t*. Vitesse moyenne : 9 *km* à l'heure.

XII. — Système Chaboche. — Signalons les véhicules à vapeur Chaboche, dont un exemplaire a pris part au Concours des Poids Lourds de 1899 (voiture de livraison). Ce système pourra être appliqué également aux transports en commun.

XIII. — Divers systèmes étrangers. — Nous nous contenterons de citer les principaux systèmes anglais qui ont pris part aux Concours de Liverpool, et qui peuvent être appliqués soit au transport des marchandises, soit à celui des voyageurs.

Véhicules de la Liquid Fuel Engineering C°. — Véhicules système Thornycroft. — Véhicules système Leyland ayant figuré au Concours des Poids Lourds en 1898. — Omnibus à pétrole de Londres. — Omnibus électriques de Berlin, etc., etc.

Chapitre III

Éléments des prix de revient des transports sur routes.

Les renseignements que nous allons indiquer au sujet des prix de revient des transports sur routes, ne peuvent être puisés qu'à un petit nombre de sources, en raison même de la nouveauté de la question.

Nous avons trouvé les bases de notre étude dans les Rapports officiels des Concours des Poids Lourds, d'une part, et dans les indications pratiques que nous avons pu recueillir près des exploitants.

Tout d'abord, nous allons rappeler très sommairement les résultats économiques des différents Concours des Poids Lourds.

Les Concours des Poids Lourds.

Concours de Versailles. — On sait que l'Automobile-Club de France a nommé, en 1896, une Commission qui élabora le programme et les règlements du premier Concours international qui a eu lieu en août 1897, et qui se renouvelle chaque année. Ce Concours est réservé aux Voitures automobiles destinées à transporter un minimum de poids de 1 *t* (voyageurs ou marchandises).

Les Concours des « Poids Lourds », ainsi nommés à cause du minimum de poids imposé, ont montré que l'industrie, encore toute nouvelle des automobiles, était à même de livrer au public des véhicules industriels pour les transports en commun des voyageurs et le camionnage des marchandises. M. Forestier, Président de la Commission, a présenté à la Société les résultats des divers Concours qui ont eu lieu jusqu'à présent (1).

Nous avons résumé dans les tableaux ci-après les différents renseignements que nous ont fournis les Concours.

CLASSIFICATIONS		SYSTÈMES	1897	1898	1899
Véhicules à voyageurs	Omnibus.	à vapeur.	de Dion-Bouton. Scotte. Weidknecht.	de Dion-Bouton. Serpollet. Leyland.	de Dion-Bouton. (Purrey). (Chaboche).
		à essence.	Panhard et Levassor.	de Dietrich. (Panhard et Levassor). Roser-Mazurier.	Panhard et Levassor. de Dietrich.
	Breaks. .	à vapeur.	de Dion-Bouton Le Blant.	de Dion-Bouton.	
		à essence.	Maison Parisienne.		
	Trains. .	à vapeur.	Scotte.		

Parmi ces véhicules, tous n'ont pas satisfait aux épreuves, nous avons résumé dans le tableau ci-après les renseignements les plus intéressants que l'on tire des Rapports.

(1) *Bulletins de la Société des Ingénieurs Civils de France*, décembre 1897, novembre 1898, août 1889. Rapports de M. G. Forestier à l'Automobile-Club de France.

	VITESSES MOYENNES GÉNÉRALES			CONSOMMATIONS journalières de COMBUSTIBLE à 2/3 de charge		PRIX DE REVIENT de la TONNE KILOMÉTRIQ. à 2/3 de charge	
	1897	1898	1899 (2)	1897	1898	1897	1898
A vapeur :	kilom. à l'heure	kilom. à l'heure	kilom. à l'heure	kilogr.	kilogr.	francs	francs
Omnibus De Dion-Bouton	14	14,5	19	247	343	0,30	0,25
Omnibus Serpollet . . .	—	12,3	—	—	183 l.	—	0,47
Omnibus Scotte	11	—	—	385	—	0,39	—
Breaks Leyland . . .	—	9,5	—	—	65 l.	—	0,73
A essence :				litres	litres		
Omnibus Panhard et Levassor.	10,5	14,2 (1)	12	48,6	44,5	0,45	0,39
Omnibus De Dietrich. .	—	11,5	8,5	—	40,4	—	0,45
Omnibus Rozer-Mazurier . .	—	9,5	—	—	16,8	—	0,52

(1) En réalité les chiffres sont ceux de la voiture de livraison portant 1 000 *kg*, très comparable à un omnibus.

(2) Chiffres approximatifs non officiels.

Rappelons que de la vitesse moyenne générale on calcule la vitesse commerciale en déduisant un certain laps de temps pour les arrêts qui auraient lieu en pratique. Quant à la consommation de coke, d'huile lourde ou d'essence, chiffres officiels, on en déduit les prix de revient qui ont été calculés par la Commission des Concours. Nous avons supposé, dans le tableau ci-dessus, que le véhicule transporte en moyenne les 2/3 de sa charge maxima, le chiffre de 2/3 est peut-être un peu au-dessus de la réalité, mais il correspond cependant, selon nous, au trafic d'une ligne de transports rémunératrice, c'est-à-dire dans laquelle le trafic de la semaine comprend deux à trois cinquièmes des places offertes et celui du dimanche correspond à une très grande affluence; il se trouve, du reste, confirmé dans une certaine mesure par les statistiques des Compagnies parisiennes de Tramways (1).

Concours de Liverpool. — A côté du Concours de l'Automobile-Club, il convient de rappeler qu'en Angleterre plusieurs concours de voitures lourdes ont eu lieu. Le premier Concours de Liver-

(1) Sur toutes les lignes principales, le pourcentage des places occupées est de 60 à 70 0/0 des places offertes; le pourcentage moyen varie selon les Compagnies de 40 à 55 0/0 en raison des lignes improductives imposées aux Compagnies par le monopole.

pool organisé en mai 1898 par la « Self propelled Traffic Association » a réuni trois concurrents qui ont présenté quatre intéressants véhicules.

La Liquid Fuel Engineering C° (par abréviation Lifu) avait un chariot à vapeur portant 4 *t*, la chaudière est à tubes d'eau contournés, chauffée au pétrole, la machine compound tourne en marche normale à 600 tours, cette vitesse est réduite dans la proportion de 8/1 entre le moteur et les roues.

Les véhicules système Thornycroft construits par la Steam Carriage and Wagon C°, de Chiswick, étaient au nombre de deux tout à fait semblables au point de vue mécanique : un tracteur-porteur à 6 roues, de 5 *t* et un camion simple de 3 *t*. La chaudière est à tubes d'eau concentriques, chauffée au coke, la machine compound est horizontale, la vapeur est condensée dans une batterie de tubes placés sur le toit de l'abri des conducteurs.

Le camion Leyland de 4 *t*, est encore un véhicule à vapeur chauffé au pétrole, la chaudière est à tubes d'eau verticaux, la machine compound verticale est du type pilon, la transmission se fait par 3 chaînes Renold. La voiture est munie d'un condenseur à surface placé sur le toit, dont le poids n'excède pas 50 *kg*.

I. — *Concours de Liverpool (mai 1898).*

NOMS	CHARGE utile	POIDS total en charge	VITESSE commerc. à l'heure	CONSOMMATION par kilomètre		HYPOTHÈSE A		HYPOTHÈSE B	
				Pétrole	Charbon	Parcours journalier en charge	Prix de revient par tonne kilom.	Parcours journalier en charge	Prix de revient par tonne kilom.
	kg	*kg*	*km*	*l*	*kg*	*km*	*f*	*km*	*f*
Lifu	2 235	5 425	11,29	1,84		56	4,01	113	2,72
Thornycroft n° III .	4 806	9 703	4,49		5,35	56	2,40	45	2,80
Thornycroft n° IV .	2 570	6 258	8,40		2,61	56	3,60	84	2,68
Leyland.	4 125	7 528	7,16	1,50		56	1,85	71	1,61

En juin 1898, un essai comparatif a été fait sous les auspices de la Société Royale d'Agriculture, sur trois véhicules.

Deux d'entre eux, système Thornycroft et Leyland avaient figuré au Concours de Liverpool, le troisième était une voiture système Daimler (moteur à explosion) très analogue à ceux construits en France par la Société Panhard et Levassor.

II. — *Concours de la Société Royale d'Agriculture* (juin 1898).

	MOTEURS A VAPEUR		MOTEUR A EXPLOSIONS
	Lancashire Steam Motor C° Leyland	Steam Carriage and Wagon C° Thornycroft	Système Daimler
Poids total	6 645 *kg*	7 002 *kg*	2 530 *kg*
Combustible consommé	106,69 *l*	381 *kg*	12,757 *l*
Prix du combustible par tonne kilométrique	0,047 *f*	0,043 *f*	0,028 *f*
Coefficient de frottement	1,27	1,31	1,44
Vitesses moyennes à l'heure	10,42 *km*	9,97 *km*	12,58 *km*
Puissance effective en palier	9,5 *ch*	8,3 *ch*	2,7 *ch*
— en rampe	15,4 *ch*	14,9 *ch*	6,2 *ch*

En 1899, le Concours de Liverpool a réuni d'assez nombreux concurrents; les véhicules qui ont pris part au concours étaient tous à vapeur.

Nous avons réuni dans le tableau III les renseignements principaux sur ces véhicules.

Ayant ainsi résumé tous les documents officiels, il nous reste à montrer quelles sont les principales conditions dans lesquelles les services publics sur routes ont leur raison d'être.

L'automobile n'a certes pas la prétention de supplanter les chemins de fer économiques ni même les tramways, parce que là où le trafic et la nature du tracé permettent l'établissement d'un transport sur rails, la voiture automobile sur routes ne peut lutter au point de vue de l'économie (1).

Cependant il est nombre de cas où l'établissement d'un service sur rails est difficile, ou n'est pas compatible avec la prudence qui doit être de règle dans les affaires industrielles.

Par exemple, lorsque les voies à emprunter pour le service présentent une largeur insuffisante ou des rétrécissements qui sont gênants pour l'installation d'une voie ferrée en accotement

(1) On reproche parfois à l'automobile lourde de détériorer les routes, il est incontestable qu'une roue motrice doit affecter la chaussée plus qu'une roue porteuse. Toutefois lorsqu'on sera arrivé à réduire le poids mort et quand on pourra faire des roues de diamètre un peu grand présentant une solidité suffisante, il est probable que la détérioration ne sera pas beaucoup plus grande que celle que produisent les gros fardiers et les pieds des chevaux, principalement aux démarrages.

III. — *Concours de Liverpool (1899).*

SYSTÈME	POIDS à VIDE	DIAMÈTRE des ROUES MOTRICES (arrière)	MODE DE CHAUFFAGE	MACHINE		OBSERVATIONS
				DIAMÈTRE des cylindres	COURSE	
	kg	*m*		*mm*	*mm*	
Coulthard	2 230	0,889	Combustible liquide.	70, 104, 102	127	Roues métalliques. Condenseur.
Leyland	2 896	0,990	Combustible liquide.	70, 127	152	Analogue au véhicule de 1898. Condenseur.
Bayleys	3 000	0,889	Coke.	»	»	Très analogue au système de Dion et Bouton.
Clarkson.	3 000	0,925	Combustible liquide.	70, 152	101	Condenseur.
Thornycroft I	3 000	0,990	Coke.	»	»	Camion. Condenseur.
Thornycroft II.	3 200	0,990	Coke.	»	»	Camion remorquant un autre chariot.

ou même en chaussée, enfin lorsque les rampes dépassent une certaine limite, l'automobile peut avoir sa raison d'être au lieu d'un tramway; c'est ce qui s'est produit, par exemple, sur la ligne accidentée de Condé à Vire et sur les trajets longs et montagneux du Nord de l'Espagne.

Un autre cas, et non des moins fréquents, est celui dans lequel on ignore exactement quel sera le trafic possible d'une ligne dont on demande la concession. L'automobile fournit le moyen très simple, de faire à peu de frais un service d'essai, au moyen duquel on « tâtera » le trafic, quitte à transporter les voitures en un autre endroit si le service d'essai ne donne pas les espérances attendues.

Ceci nous amène donc tout naturellement à parler des causes qui influent sur les prix de revient des transports sur routes.

Ces prix de revient sont relativement élevés comme l'ont montré les chiffres officiels de l'Automobile-Club de France et aussi les renseignements de la pratique. Cette élévation est due à quatre causes que nous allons passer en revue successivement :

1° *Prix d'achat.* — Les prix d'achat des véhicules automobiles sont les suivants :

Omnibus de Dion-Bouton	22 000 *f.*
— Serpollet	18 000
— Scotte	22 000
Break Leyland.	10 000
— de Dietrich	12 000
Omnibus Panhard et Levassor. . .	18 000 à 20 000
— Rozer-Mazurier	18 000

Ces prix varient naturellement selon la capacité de la voiture et les constructeurs; ces prix s'abaisseront probablement dans l'avenir de 15 à 20 0/0.

Un élément assez important du prix de revient qui est fonction du prix d'achat, est le chapitre : *Intérêt du capital engagé et amortissement du matériel.*

En ce qui concerne le capital engagé il ne comprend guère, outre le fonds de roulement, que le prix d'achat des véhicules, et tel service peut très bien fonctionner avec trois grands omnibus et un capital ne dépassant pas 80 000 *f.* Or il ne faut pas, à notre avis, compter dans une affaire industrielle sérieuse l'intérêt du capital à moins de 5 0/0.

Le matériel comprend les voitures et les pièces de rechange importantes (chaudière de secours, moteur en réserve, trains de roues de rechange, etc.); ce matériel doit être rapidement amorti pour deux raisons :

D'abord, c'est que l'usure des pièces soumises aux vibrations provenant des inégalités de la route est bien plus considérable que dans les machines fixes, et même les automotrices sur rails; ensuite, c'est qu'en raison même des progrès de l'industrie automobile, un véhicule trop vieux n'aura plus de valeur.

Pour ces raisons, nous estimons qu'en dix ans, au maximum, le matériel doit être considéré comme usé ou invendable autrement qu'à l'état de ferraille. L'amortissement ne doit donc pas être évalué à moins de 10 0/0 du capital d'achat du matériel.

Sur ce premier chapitre comprenant les deux sous-chapitres : Intérêt et amortissement, nous estimons que l'évaluation à 15 0/0 doit être le minimum admis dans la pratique.

2° *Entretien et réparations.* — C'est là un chapitre des plus importants, sinon le plus important du prix de revient. Il se réduit à peu de chose dans la traction animale, il est tout différent dans la traction mécanique.

Dans les dépenses d'entretien on peut comprendre les petites dépenses journalières qui résultent du travail du mécanicien lui-même : changer un écrou, refaire un joint, remplacer des goupilles, réajuster des clavettes, enfin et surtout nettoyer les chaudières dans les véhicules à vapeur.

Les dépenses de réparations sont celles qui ont pour but de remédier aux usures normales du mécanisme; segments de piston, coussinets, bandages de roues, colliers de frein, etc.

Il y a enfin une autre catégorie de dépenses; ce sont les réparations à la suite d'accidents ou de maladresses du conducteur; celles-ci doivent être évitées dans une très grande mesure avec un personnel expérimenté et les premières doivent être garanties par une assurance qui rentre dans la catégorie des frais généraux.

Le montant de l'entretien et des réparations peut varier, et en fait, varie du simple au décuple; ce chiffre est fonction des trois conditions suivantes :

1° Il dépend tout d'abord de l'intensité du travail demandé au matériel; il est tout naturel que le montant des réparations et des dépenses d'entretien dépend avant tout du nombre de kilomètres parcourus par le véhicule.

2° Des conditions extérieures du trafic : par exemple un trajet en rampes et pentes provoquera plus d'entretien et de réparations qu'un trajet en plaine; un autre exemple est la différence d'entretien qui résulte des différences d'eau employée dans les chaudières à vapeur. Prenons deux chaudières identiques, du même constructeur, l'une qui est alimentée par de l'eau titrant plus de 60° hydrotimétriques devra être démontée et nettoyée tous les 6 à 7 jours; telle autre alimentée par de l'eau ne titrant que 5 à 6° hydrotimétriques fonctionnera 30 jours sans nettoyage. A ce sujet il semble qu'il y aurait un véritable intérêt à munir les véhicules à vapeur d'un condenseur à surface permettant d'employer dans la chaudière de l'eau très pure, mais ces condenseurs augmentent le poids et la complication des mécanismes. Un autre moyen serait, s'il était possible, d'employer de l'eau distillée ou tout au moins très pure pour faire le plein à chaque voyage.

3° Les dépenses d'entretien et de réparations varient également, il faut le dire, avec le plus ou moins de soins apportés dans la conception et dans la construction des véhicules et des machines : pour ne citer que des exemples tout à fait généraux, on peut faire ressortir que l'emploi de chaînes dans certains mécanismes peut être une cause de réparations plus importantes qu'un système de commande directe; que les précautions que prennent certains constructeurs pour éviter les coups d'eau dans les cylindres à vapeur diminuent ces dépenses de réparation; que le graissage doit être tout spécialement soigné.

L'avenir des omnibus automobiles appartient aux constructeurs qui, par des études consciencieuses et une expérience de plusieurs années, auront trouvé le moyen de diminuer, dans la plus grande mesure possible, ces dépenses d'entretien et de réparations; il faut le dire bien haut, car c'est le point capital de l'automobilisme industriel.

A quel chiffre doit-on rapporter les dépenses d'entretien et de réparations? C'est là une question très difficile à résoudre : la Commission technique du Concours des Poids Lourds a rapporté ces dépenses au prix d'achat, ne pouvant, après six jours de fonctionnement, posséder un élément d'appréciation plus certain.

Dans la pratique cependant, il serait évidemment plus exact de rapporter ces dépenses au nombre réel de kilomètres parcourus par jour, augmenté d'un certain tant pour cent, pour tenir compte des rampes et pentes dont on peut transformer le travail en un certain nombre de kilomètres supplémentaires. Ce moyen

d'évaluation ne tient pas compte de la valeur de la construction pas plus, il est vrai, que le rapport au prix d'achat.

En effet, les prix subissent avant tout, à l'heure actuelle, l'influence de l'offre et de la demande, sans être absolument, comme pour le prix de revient des locomotives par exemple, fonction de la qualité de la construction.

Quoi qu'il en soit nous nous rallions, quant à présent et faute de mieux, à la méthode de la Commission officielle, mais nous en discutons le quantum.

Celui-ci a été fixé à 11 0/0 du prix d'achat.

Ce chiffre est certainement au-dessous de la réalité pratique.

La Société Scotte, dans une notice sur ses véhicules, compte les dépenses d'entretien à 0,25 *f* le kilomètre, ce qui, pour un parcours journalier de 60 *km* pendant 300 jours, correspond à 18 0/0 du prix d'achat; à notre avis c'est là un *minimum*.

Le jury des épreuves de Liverpool a évalué les réparations annuelles à 30 0/0 du prix d'achat. De plus, M. Forestier indique que dans des voitures de livraison (qui sont dans des conditions particulières, il est vrai) le montant des dépenses d'entretien et de réparations s'est élevé jusqu'à 50 0/0 du prix d'achat.

Signalons également que dans l'essai de neuf mois fait aux usines de lainages à Wellington (Devonshire) avec un chariot Leyland, on a relevé, ainsi qu'il suit, le compte d'entretien :

Main-d'œuvre	425 *f*
Matières.	75
Assurance.	125
Différentes pièces spéciales. . . .	125
Réparation à la chaudière (tôles et grilles).	940
Total.	1 690 *f*

Ce chiffre correspond approximativement à une dépense de 0,30 *f* à 0,45 *f* par kilomètre.

Rappelons, enfin, les termes de la lettre que M. Honoré écrivait à la Société le 3 décembre 1897.

« Cette économie (des automobiles) ne sera nette que lorsqu'on » aura organisé l'entretien et les grosses réparations dans des » conditions normales, c'est-à-dire lorsqu'on aura des construc- » teurs moins débordés de commandes, plus sûrs d'eux-mêmes » et n'ajoutant pas des retards anormaux à l'exploitation indus- » trielle sérieuse et intense qui, poursuivie toute l'année, a

» des exigences que ne révèlent ni les voitures d'amateurs, ni » les courses d'essai. »

M. Honoré avait ainsi montré, dès 1897, l'importance extrême de la question des réparations que la pratique des automobiles de livraison du Louvre lui a confirmée.

Sur cette question primordiale de l'entretien et des réparations, nous estimons donc, faute d'un terme de rapport plus exact, qu'il faut évaluer ce chef de dépense de 18 à 25 0/0 du prix d'achat selon les conditions de l'exploitation, la conception et l'exécution du mécanisme.

3o *Consommation.* — Lorsqu'on considère les chiffres de consommation des voitures automobiles, on est frappé du peu d'élévation de ceux-ci par kilomètre parcouru ; les renseignements que l'on peut extraire du dernier rapport officiel sont les suivants :

L'Omnibus Roser-Mazurier que nous mettons en tête à cause de sa très faible consommation, dépensait 0,296 *l* d'essence ordinaire par tonne kilométrique de charge utile, soit pour un parcours journalier de 90 *km*, une dépense de à 5,05 *f* à deux tiers de charge, soit 19 0/0 des dépenses totales journalières.

L'omnibus de Dion-Bouton dans les mêmes conditions a accusé une dépense (à 2/3 de charge) de 1,33 *kg* de coke et 6,5 *kg* d'eau par tonne kilométrique de charge utile sur un parcours journalier de 140 *km*, soit une dépense de 15,30 *f* par jour qui correspond à 31 0/0 du prix de revient total journalier.

Le camion des mêmes constructeurs qui, en raison de sa plus faible vitesse, ne fait que 106 *km* par jour, donne une dépense à deux tiers de charge de 1,12 *kg* de coke et 4,75 *kg* d'eau par tonne kilométrique de charge utile, soit une dépense de 15,05 *f* par jour, qui correspond à 35 0/0 du prix de revient total journalier.

Le break de Dietrich, à l'essence rectifiée, a consommé 0,136 *l* par tonne kilométrique du poids total moyen, ce qui représente 16,16 *f* à deux tiers de charge pour un parcours de 110 *km*, soit 22 0/0 des dépenses totales.

On voit par ces quelques exemples, que pour des véhicules ne dépassant pas une vitesse de 12 à 14 *km* à l'heure, en palier, la consommation n'a rien d'excessif, et il vaut mieux, à notre avis, conserver des mécanismes rustiques et peu économiques relativement, que d'augmenter par des mécanismes compliqués les chances de réparations et d'arrêts.

4° *Frais généraux.* — Ce chapitre du prix de revient comprend des éléments très divers et très variables, parmi lesquels il convient de signaler :

1° La conduite, qui varie selon que le véhicule nécessite un ou deux hommes et selon le prix de la main-d'œuvre, etc. L'emploi dans les voitures à vapeur d'un combustible liquide facilement emmagasinable et dont le réglage se fait automatiquement, permet de supprimer le chauffeur presque uniquement occupé au chargement du coke, ainsi que l'ont montré les concours; de ce chef une assez importante économie sur le prix de main-d'œuvre est réalisée;

2° Les dépenses de consommation accessoires, graissage, chiffons, allumage, etc., pour lesquels les rapports du concours des Poids Lourds donnent des chiffres se rapprochant de la réalité;

3° La rémunération de la direction de l'entreprise, les frais d'administration, les loyers des remises, les taxes, assurances, etc.

Les frais généraux (considérés dans le sens large du terme) seront donc, selon chaque cas particulier, à considérer; cependant on peut estimer, comme on le fait dans certains prix de revient de machines, les frais généraux, groupés sous le n° 3, à la même somme que la main-d'œuvre, car on a remarqué que ces deux chefs de dépense augmentent ou diminuent l'un et l'autre dans une proportion à peu près analogue.

On peut également, comme l'a fait M. Forestier, estimer le n° 3 à 10 0/0 des dépenses fixes lorsque l'entreprise de transports est constituée d'une façon normale au point de vue financier et au point de vue de l'exploitation.

En résumé, sur cette question des prix de revient des transports en commun sur routes, nous pensons qu'à l'heure actuelle (octobre 1899), il convient d'appeler l'attention des Ingénieurs sur la nécessité absolue de chercher à diminuer, dans la mesure du possible, le montant des dépenses d'entretien et de réparations.

Ce chef de dépenses n'arrivera à un taux véritablement pratique que lorsque les constructeurs auront acquis une expérience encore plus grande que celle dont ils peuvent actuellement faire preuve, ce dont nous ne doutons pas un seul instant, du reste. C'est alors seulement que les services en commun sur routes pourront être véritablement rémunérateurs.

CONCLUSIONS

Ce ne sont pas, à proprement parler, des conclusions que nous voulons tirer de cette étude rapide de la question si complexe et si brûlante des transports en commun par tramways à traction mécanique ou automobiles. Nous avons voulu énoncer seulement un certain nombre de *desiderata* et faire un exposé de l'état de la question, en octobre 1899; rien de plus.

Nous avons passé en revue tous les systèmes de tramways qui fonctionnent pratiquement, principalement ceux que nous avons tous les jours sous les yeux en France; nous avons montré l'état de perfectionnement auquel ils sont parvenus depuis 1894, leurs avantages et leurs inconvénients.

Nous n'avons traité que sommairement la question de la dédépense de traction des tramways, parce que cette question si complexe ne peut être véritablement résolue que par les exploitants eux-mêmes.

Si nos Collègues, qui ont en main les chiffres d'exploitation, veulent venir les apporter à la Société, nous en serons les premiers heureux, car c'est une question qu'il semble difficile de résoudre complètement par des considérations théoriques, parce que. à chaque cas particulier correspond un certain prix de revient.

La question des prix de revient des automobiles était si particulière et si neuve, que nous n'avons pas hésité à appeler l'attention sur certains chiffres de bases, très importants, au sujet desquels nous avons formé notre opinion dans l'étude des conditions d'exploitation de plusieurs services existants.

Nous souhaitons d'avoir pu rendre ainsi quelques services à l'industrie si intéressante et si prospère des transports en commun.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

Séances des 2 février et 2 mars 1900.

L'ordre du jour appelle la discussion de la communication de MM. Périssé et Godfernaux sur la *traction mécanique sur rails et sur routes pour les transports en commun.*

M. Canet, Président, rappelle que cette étude contient un certain nombre d'appréciations sur les prix de revient et il espère vivement que, dans la discussion très intéressante qui va s'ouvrir, quelques-uns de nos Collègues s'attacheront plus spécialement à traiter ce sujet avec quelque détail.

Il estime, en effet, que la considération des prix de revient de la traction, dont dépend en grande partie le succès de toute industrie, est, pour la Société, d'un intérêt considérable, et forme le complément indispensable de la communication qui nous a été faite.

DISCUSSION

Il a d'abord été donné lecture des différentes notes résumées ci-dessous :

NOTE DE M. P. GUÉDON

I. — Dans les études relatives aux divers modes de traction des tramways, on a souvent tendance à glisser sur les inconvénients de toute nature que présentent les divers systèmes électriques, et à s'appesantir au contraire sur les défauts des systèmes à vapeur.

Il faut n'avoir pas dirigé d'usine de production de force un peu importante, pendant un temps assez long, pour ignorer les ennuis, quelquefois journaliers, qui se présentent dans la marche de ces usines, malgré l'habileté et l'attention du personnel de conduite. Quant aux voitures elles-mêmes, il faut des soins constants dans l'entretien des moteurs, appareils de manœuvre, accumulateurs, etc.

D'autre part, les systèmes à vapeur dont on fait usage à Paris : Rowan, Francq, Serpollet, Purrey, sont beaucoup plus économiques comme frais d'installation. Bien établis — avec les perfectionnements et modifications que la pratique à indiqués, — convenablement conduits et entretenus, ces systèmes peuvent aussi assurer un excellent service, et ils sont encore économiques

comme exploitation, en raison de l'emploi direct du combustible et des plus faibles charges dont ils se trouvent grévés du côté de l'intérêt et de l'amortissement. Enfin, le bruit et l'odeur peuvent y être assez atténués pour qu'ils deviennent parfaitement acceptables par les voyageurs et les riverains, même dans les grandes villes.

Aussi, en dehors des lignes à grand trafic, pour lesquelles les Compagnies exploitantes peuvent employer les modes de traction les plus coûteux et établir les usines et les voitures avec tous les perfectionnements pouvant pallier les défectuosités habituelles de leur fonctionnement, il convient de s'en tenir le plus souvent à l'un des systèmes à vapeur énumérés ci-dessus, en établissant les moteurs et les voitures avec plus ou moins de soins, suivant le trafic lui-même ou les quartiers traversés par le tramway.

II. — Le prix de revient d'un système de traction ne devrait pas être indiqué d'une façon approximative ou moyenne, mais se rapporter exactement à des lignes en exploitation choisies comme exemples. On devrait, en outre, énumérer toutes les particularités qui influent sur le coût de la traction et dont la connaissance est nécessaire pour établir une comparaison entre les divers systèmes :

Longueur et profil des lignes;

Système de voie, sur accotement ou chaussée;

Contenance des voitures;

Vitesse moyenne de marche;

Nature des arrêts : fixes ou à la demande des voyageurs;

Nombre d'usines pour une même ligne, ou nombre de lignes alimentées par une même usine;

Puissance maxima et puissance habituellement développée

Consommation de combustible par cheval effectif;

Rendement des lignes électriques, accumulateurs, canalisations et compresseurs;

Coût du combustible, des diverses huiles de graissage et de l'eau;

Salaires (primes diverses comprises) des mécaniciens ou électriciens, des chauffeurs, ouvriers et manœuvres, wattman ou machinistes, avec le nombre d'heures de travail ou de kilomètres effectués par jour;

Intérêt et amortissement des installations, etc.

On pourrait, avec de semblables données, établir le coût des

divers modes de traction, pour une même ligne, avec des conditions identiques, de fonctionnement économique des machines, de salaire des machinistes et ouvriers, de prix du combustible, etc., et on aurait alors une évaluation comparative aussi exacte que possible de la valeur économique des différents systèmes.

NOTE DE M. L.-L. VAUTHIER

Dans toute question de transport, une relation intime s'établit entre le véhicule et la voie, et l'on pourrait énoncer que, plus le véhicule se perfectionne, plus la voie elle-même se conditionne étroitement. Cette relation n'a certainement pas échappé aux auteurs du travail; ils en parlent en divers endroits, au sujet, notamment, des pentes et des courbes, et, lorsqu'il s'agit des automobiles sur route, au sujet des frais d'entretien que les trépidations dues aux inégalités de la voie occasionnent. Il semble néanmoins que ce côté de la question n'a pas été envisagé d'une façon systématique, et il serait utile que la discussion à intervenir portât sur cette considération importante.

Ladite considération mérite, il faut le remarquer, d'attirer l'attention à un double point de vue.

De ce que, en France, la voie publique est gratuitement livrée à tous, au fond, la dépense de sa construction et de son entretien entre, pour une part, dans le prix de revient du transport. Chacun le reconnaît, lorsqu'il s'agit, comme pour les tramways, d'y poser des rails et d'y ajouter, sous une forme quelconque, des appareils et installations propres à conduire la force motrice. On peut négliger, mais on ne méconnaît pas, dans ce cas, en principe, la nécessité d'avoir égard à cette dépense supplémentaire. Pourquoi serait-on fondé à ne pas tenir compte de l'*usage* qu'on fait de la voie publique, surtout lorsqu'il s'agit de véhicules qui exigent que celle-ci soit entretenue avec des soins tout particuliers?

Quant au côté technique, on ne peut méconnaître davantage que, plus le véhicule est parfait, plus il comporte, pour la voie, d'exigences rationnelles. Force est, sans doute, de s'adapter aux dispositions de cette dernière, lorsqu'on ne peut faire autrement; et il faut savoir, dans une foule de cas, accepter avec la gravité une lutte à laquelle on ne peut se soustraire. Mais des tours de force ne constituent pas des solutions normales; et, pour le service urbain, particulièrement, on arrivera difficilement à des-

servir par traction mécanique une ville offrant des pentes, quelques-unes fort raides, comme Paris, dans des conditions aussi favorables qu'une ville en terrain parfaitement plat.

Quelque élémentaires qu'elles soient, ces considérations échappent quelquefois à l'attention. N'a-t-on pas vu préconiser l'emploi des automobiles comme solution de la question des transports dans des pays coloniaux dépourvus de routes? Et, quant à à ce qui touche spécialement aux tramways, quelles que soient les espérances qu'on fonde sur les progrès de ce mode de transport urbain, on ne peut méconnaître qu'il marche à rebours de ce qui paraît être une loi rationnelle : la spécialisation de la voie au système de véhicule qui la dessert. La coexistence, sur le même plan, de véhicules engagés dans des rails et de véhicules libres, la fixation, dans des chaussées faites pour ces derniers, de ces mêmes rails qui les coupent et les désagrègent, sont une solution bâtarde à laquelle l'avenir ne semble pas appartenir. Celui-ci est bien plutôt aux véhicules automobiles dirigeables. Quant aux véhicules guidés par des rails, leur place logique est dans des plans inférieurs ou supérieurs à celui des voies ordinaires, et Paris a, croyons-nous, pour l'organisation de ses transports intérieurs, manqué, depuis trente ans, la vraie solution, mal préparée d'ailleurs par les précédentes transformations de ses voies publiques. La circulation y est de plus en plus difficile et cette difficulté ne fera, croyons-nous, que croître avec le temps.

NOTE DE M. LÉON FRANCQ

M. L. Francq pense que la vitesse de 12 *km* admise pour l'intérieur des villes est insuffisante. Si l'on voulait, en effet, limiter à ce chiffre la vitesse maxima, il deviendrait impossible d'obtenir la vitesse commerciale nécessaire de 14 à 15 *km* à l'heure.

Aujourd'hui, avec les moyens puissants dont on dispose pour le démarrage, comme pour le freinage, on peut (sans crainte pour la sécurité) admettre une vitesse maxima de 18 à 20 *km*.

A l'extérieur des villes, on devrait pouvoir porter cette vitesse maxima à 30 *km* en certains endroits; et, il est vraiment regrettable que le règlement d'administration publique, annexé à la loi du 11 juin 1880, ne permette pas d'aller au delà de 20 *km*.

En ce qui concerne la circulation dans les villes, M. Francq n'est pas d'avis que la voiture automotrice seule peut être ad-

mise. L'automotrice peut avoir ses avantages, mais elle a ses inconvénients. Les démarrages se font plus rapidement, mais les arrêts ne sont pas moins longs, ni la sécurité plus grande; par rapport aux voitures ordinaires qui circulent dans les rues, le danger est le même pour l'automotrice comme pour la locomotive d'un train, puisque la collision a toujours lieu à la tête du train; et comme les unités sont plus nombreuses avec l'application des automotrices, l'encombrement de la rue augmente et les causes de danger se multiplient.

D'autre part, si l'on exploite par formation de train, il devient facile (et c'est nécessaire pour une traction mécanique) d'offrir beaucoup de place au public; par exemple dans la proportion de cinq pour une.

Avec l'usage des locomoteurs, les voyageurs n'ont pas à supporter les inconvénients du voisinage des moteurs : trépidations, bruits, mauvaises odeurs, etc.

L'expérience a démontré, au surplus, que les trains composés de trois voitures gravissent lestement des rampes de 60 millièmes et circulent dans des courbes de 18 *m* de rayon, dans les meilleures conditions.

Donc, au point de vue spécial de l'exploitation technique, les avantages signalés par les auteurs en faveur de l'automotrice ne sont, à son avis, qu'apparents. En réalité, l'emploi de l'automotrice, à recette brute égale par kilomètre de ligne, est plus onéreux, parce qu'il donne lieu à la multiplication de certaines dépenses d'exploitation et par suite à l'élévation du coefficient d'exploitation. Partant de là, si l'exploitation est plus chère, les tarifs restent élevés; le public et le trafic en subissent les conséquences.

En ce qui touche la constitution même de la voiture automotrice, en général, M. Francq regrette que les voyageurs y éprouvent les inconvénients du démarrage, les trépidations et les secousses.

Malheureusement, ces inconvénients n'ont pas tous disparu, avec les dispositions adoptées pour les voitures électriques, par l'application de trucks à double suspension et de bogies dits « à maximum d'adhérence ».

Il est fâcheux aussi que, jusqu'à ce jour, il soit toujours nécessaire d'attaquer les essieux par des engrenages, au moyen de moteurs suspendus diversement. L'idéal serait évidemment de commander l'essieu directement.

Pour diminuer le mouvement désagréable du tangage qui fatigue le voyageur, qui fatigue également la voie et le matériel roulant lui-même, en favorisant le déraillement, il paraît donc indispensable de renoncer à l'usage du truck et, par conséquent, aux voitures ayant plus de 2 *m* d'empattement pour passer dans des courbes de 20 *m* de rayon.

Peu à peu, on arrivera à reconnaître la nécessité de créer exclusivement des voitures à bogies, soit avec un essieu ou, ce qui est préférable, avec deux essieux par bogie. Jusqu'ici chaque bogie ne comporte généralement qu'un seul moteur ; on a employé un dispositif américain avec deux essieux et des roues de diamètre inégal dans le but de favoriser le logement des moteurs et pour réaliser le plus possible le maximum d'adhérence.

Mais, ces divers systèmes n'ont pas réussi à diminuer la brutalité des démarrages ni le désagrément des trépidations et des secousses. Le bogie, en effet, ne se dirige pas toujours convenablement, les déraillements sont fréquents, la stabilité du bogie laisse à désirer et l'adhérence maxima n'est pas réelle.

C'est pour obvier à ces inconvénients, que la Compagnie des Tramways mécaniques des environs de Paris (nord-ouest parisien), qui avait déjà créé des voitures remorquées à suspension spéciale, en 1896, entre Saint-Germain et Poissy, procède en ce moment à la création de voitures électriques à doubles bogies, chacun de ceux-ci portant, symétriquement disposés, deux moteurs au lieu d'un, et une suspension indépendante de la suspension ordinaire, qui aura pour but d'atténuer la brusquerie du démarrage, les secousses et les trépidations.

Les bogies en question auront de plus l'avantage de se diriger, la voiture étant parfaitement stable, d'une façon rationnelle, quel que soit le sens de la voiture et sa vitesse, sans risque de déraillement. Quant à l'adhérence, elle sera complète.

Sur la question du poids mort des voitures automotrices, il est bien évident qu'il faut réduire ce poids dans la plus grande mesure possible, sans toutefois compromettre la solidité du matériel et son entretien, la sécurité, l'économie d'exploitation et la bonne marche du matériel. Mais, après tout, dans le cas d'une voiture à quatre moteurs, un excédent de poids mort qui se traduit par une augmentation de dépense d'énergie, se résume par un excédent de la dépense d'exploitation, qui n'atteint pas le vingtième de la dépense totale.

Dans ces conditions, il n'est pas douteux que ce sacrifice ne soit

compensé, et largement rémunéré, par des avantages inappréciables et des résultats qui découleront d'une plus grande vitesse, du confortable, de la sécurité de marche et d'une meilleure répartition de la charge sur les rails.

En ce qui concerne la traction par locomotives sans foyer, M. Francq fait remarquer que, depuis 1877, ces locomotives ont rendu des services appréciés au sein des grandes villes. On ne peut donc pas énoncer que ces locomotives ne sont appliquées, ou ne peuvent être appliquées, qu'en dehors des villes, puisque depuis longtemps elles circulent à Paris, à Lille, à Roubaix, à Tourcoing, à Marseille, à Lyon et ailleurs.

Le système appliqué sous forme de locomotive sans foyer peut (cela se conçoit) s'appliquer tout aussi bien sur une voiture automotrice; la preuve en est fournie par des applications de ce genre qui ont été faites en Angleterre, en Belgique et aux États-Unis.

Si, jusqu'à présent, M. Francq n'a pas fait d'applications de voitures automotrices à *eau chaude* ou *sans foyer*, en France, c'est tout simplement parce qu'il considère que la voiture automotrice fait une exploitation moins rémunératrice et qu'un service, par formation de trains est plus avantageux qu'un service par voitures isolées, au point de vue financier.

Enfin, sur la question des prix de revient de la traction, M. Francq signale que la comparaison, telle qu'elle a été présentée dans le mémoire, peut donner lieu, à première vue, à confusion, malgré la remarque faite à ce sujet par MM. Périssé et Godfernaux, puisque l'on met en ligne des prix qui se réfèrent pour certains systèmes, au *kilomètre-voiture* et, pour la locomotive sans foyer, au *kilomètre-train*.

Comme il importe d'éviter des erreurs d'appréciation, par le seul examen du tableau comparatif, tel qu'il est présenté, M. Francq rappelle que la traction à vapeur sans feu, de son système, depuis vingt-deux années a coûté ce qui suit par kilomètre-voiture :

Étoile à Saint-Germain	0,149 *f*
Saint-Germain à Poissy	0,178
Rueil à Marly-le-Roi	0,105
Lille à Roubaix	0,139
Lille à Tourcoing	0,139
Lyon à Bron et à Montplaisir . . .	0,213
Batavia à Meester Cornelis	0,062

NOTE DE M. MARQUET

M. Marquet, rappelant que les auteurs du mémoire ont exposé l'état actuel de l'industrie des transports en commun au point de vue de l'art de l'Ingénieur, se propose de présenter quelques observations en se plaçant au point de vue de l'exploitation.

Une entreprise de tramways est une œuvre d'utilité publique, mais, comme toute autre, elle ne peut se fonder sans capitaux, et, à côté de l'intérêt général, celui du public appelé à se servir du tramway, il y a l'intérêt particulier de fondateurs de l'entreprise, actionnaires ou commanditaires.

L'exploitation d'un réseau de tramways a donc pour double objectif un service public et une rémunération de capitaux.

Et la question qui se pose tout naturellement est la suivante : Quel est, *dans des conditions données*, le mode de traction le plus avantageux?

Nous disons « dans des conditions données », ajoute M. Marquet, parce que nous croyons qu'on ne peut faire à cette question de réponse générale, mais que chaque cas particulier comporte une étude distincte.

Ne pouvant examiner tous les cas qui se présenteront dans la pratique, nous en considérerons deux : celui d'un réseau de très grande ville, comme Paris, et celui d'un réseau de petite ville de province d'une cinquantaine de mille d'habitants.

Pour comparer entre eux, au point de vue économique, les différents modes de traction, il faut faire entrer en ligne de compte, non seulement les dépenses d'exploitation proprement dites, mais aussi l'amortissement des dépenses de premier établissement ainsi que la rémunération du capital.

I. — RÉSEAU DANS PARIS

M. Marquet suppose une ligne ayant 10 *km* de longueur.

1° Voie.

La voie sera double, en rails Broca d'un poids supérieur à 40 *kg* posée sur fondation bétonnée.

Dans ces conditions, le prix du kilomètre de voie simple est de 85 000 *f* environ, mais peut atteindre 100 000 *f*, ainsi qu'il résulte d'un renseignement fourni en séance par M. de Marchena.

L'équipement électrique de la voie (1) (dans le cas de tramways recevant l'énergie d'une façon continue d'une usine génératrice) peut s'évaluer comme il suit :

α. Traction par trolley.

Connexion des rails.	3 000 *f*	Par kilomètre de voie double.
25 poteaux-consoles	10 000	
Fils de contact, isolateurs, etc.	8 000	
Total. . . .	21 000 *f*	

β. Traction par caniveau.

La Compagnie française pour l'exploitation du procédé Thomson-Houston estime à environ 100 000 *f* le coût du caniveau par kilomètre de voie simple, soit 200 000 *f* par kilomètre de voie double.

γ. Traction Claret-Vuilleumier et Diatto.

Le prix de l'équipement électrique de la voie est de 35 000 *f* avec le premier système et de 30 000 *f* avec le second par kilomètre de voie simple (évaluations de MM. Maréchal et Ernest Gérard).

En outre, dans une grande ville, il faut prévoir l'installation de feeders; le prix de revient des feeders peut s'élever aux environs de 10 000 *f* par kilomètre de ligne (M. Maréchal).

En résumé, le coût de la voie, pour 10 *km* de voie double, sera, suivant les cas, de :

Traction par automobiles produisant elles-mêmes leur force motrice ou l'ayant emmagasinée. .	1 700 000 *f*
Traction par Trolley	2 010 000
Traction par caniveau	3 830 000
Traction Claret-Vuilleumier.	2 530 000
Traction Diatto	2 430 000

2° Matériel roulant.

Le nombre de voitures nécessaires dépend du trafic de la ligne. Pour une ligne très fréquentée l'espacement moyen des départs est de 5 minutes, mais, à certaines heures de la journée, les départs ont lieu toutes les 3 minutes; le nombre de voitures néces-

(1) D'après M. Ernest Gérard, Traité d'électro-traction.

saires doit être calculé d'après ce dernier chiffre. La vitesse moyenne étant de 10 *km* le nombre de voitures nécessaires sera de 40; en tenant compte des voitures en réserve, on arrive au total de 48 ou 50 (50 dans le cas d'automobile à foyer).

Les prix moyens des grandes automobiles (contenance de 50 places environ) sont les suivants :

Automobile	Rowan (1)	30 000 *f*
—	Serpollet (2)	23 000
—	Mékarski (2)	25 000
—	à accumulateurs (3)	25 000
—	électrique à prise de courant (4)	20 000

3° **Dépôts, ateliers et magasins.**

On compte en moyenne 40 m^2 de terrain bâti par voiture. Le prix du mètre carré est très variable; à la Compagnie des Omnibus le prix du mètre carré bâti atteint 215 *f*; mais, en supposant que ces dépôts soient situés dans des quartiers excentriques, on peut prendre leur prix moyen de 100 *f* au mètre carré.

4° **Usines.**

α. Traction a l'air comprimé.

La consommation d'air comprimé pour une grande automobile de 50 places est d'environ 10 *kg* par kilomètre parcouru; pour 40 voitures en service simultanément et parcourant 10 *km* par heure, la dépense par heure sera de 4 000 *kg* d'air comprimé et en comptant que 1 *ch* produit 5 *kg* d'air, la puissance de l'usine sera de 800 *ch;* et en majorant d'un tiers pour la réserve, on arrive à 1 000 *ch* environ.

Le prix de revient du cheval tout équipé pour une grande usine est en moyenne de 450 *f*, se décomposant comme suit :

Générateurs	50 *f*
Moteurs et accessoires	150
Réservoirs d'air, tuyauterie	50
Bâtiments et fondations	150
Alimentation d'eau	50
Total	450 *f*

(1) Compagnie générale des Omnibus.
(2) Compagnie des chemins de fer Nogentais.
(3) Tramways de Paris et du département de la Seine.
(4) Compagnie Thomson-Houston.

En outre qu'on est, en général, forcé d'établir une canalisation sur au moins la moitié du parcours, soit sur 5 *km*, au prix de 10 000 *f* par kilomètre, la canalisation d'air comprimé reviendra à 50 000 *f*.

β. TRACTION ÉLECTRIQUE PAR ACCUMULATEURS.

La puissance de l'usine génératrice doit correspondre à environ 15 *ch* par voiture en service, soit 600 *ch* pour 40 voitures; en tenant compte d'un tiers pour les réserves, la puissance totale sera de 800 *ch*.

D'après M. Maréchal, les dépenses de premier établissement dans le cas d'une grande usine sont, en moyenne, de 550 *f* par cheval, se décomposant ainsi :

Moteurs et chaudières	150 *f*
Matériel électrique.	200
Maçonnerie et bâtiment	150
TOTAL	500 *f*

Le coût total de l'usine sera donc de 400 000 *f*.

γ. TRACTION PAR TROLLEY, CANIVEAU OU CONDUCTEURS INTERROMPUS.

Pour une ligne à grande fréquentation on peut compter 15 *ch* à l'usine par voiture en service, soit donc 600 *ch*; en tenant compte d'un tiers pour les réserves on arrive à une puissance totale de 800 *ch*, soit, au prix moyen de 500 *f* par cheval, une dépense totale de 400 000 *f*.

En résumé, les dépenses de premier établissement pour les différents modes de traction sont :

Traction Serpollet	3 050 000 *f*
— Rowan	3 400 000
— par accumulateurs. . . .	3 492 000
— par trolley	3 562 000
— par l'air comprimé. . . .	3 642 000
— Diatto.	3 982 000
— Claret-Vuilleumier. . . .	4 082 000
— par caniveau	5 382 000

Les charges financières de l'exploitation comprennent :

1° L'amortissement du matériel et de la voie.

2° L'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement.

La première de ces charges a un caractère obligatoire pour la bonne marche de l'exploitation; la seconde n'a pas ce même caractère, mais, néanmoins, il est juste que les capitaux engagés reçoivent une rémunération. On admet couramment que les périodes d'amortissement sont de :

10 ans pour le matériel roulant;
15 — matériel fixe;
20 — la voie.

Quant à la période d'amortissement du capital engagé, l'auteur adopte une période de 50 ans, durée moyenne des concessions de tramways.

Le taux d'amortissement sera près de 3 1/2 0/0; quant à l'intérêt du capital engagé, nous le prendrons de 5 0/0.

Dans ces conditions, les charges (1) de l'exploitation sont les suivantes :

		Charges totales.	Charges par kilomètre-voiture (2).
		—	—
Traction	Serpollet	325 000 *f*	0,211 *f*
—	Rowan	374 000	0,251
—	par accumulateurs .	368 120	0,247
—	par trolley	364 120	0,244
—	par l'air comprimé .	376 890	0,252
—	Diatto.	402 920	0,269
—	Claret-Vuilleumier.	410 920	0,276
—	par caniveau . . .	527 920	0,354

Dépenses d'exploitation.

Les dépenses d'exploitation comprennent un certain nombre de chapitres communs à tous les modes de traction. M. Marquet adopte les chiffres fournis par la Compagnie générale des Omnibus pour l'exercice 1898 et qui sont les suivants :

(1) Les charges d'amortissement sont de :

85 *f* par 1000 *f* en 10 ans,
52 *f* par 1000 *f* en 15 ans,
35 *f* par 1000 *f* en 20 ans.

L'intérêt et l'amortissement du capital est de 55 *f* pour 1000 *f*.

(2) Dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, le nombre de kilomètres-voitures est de 1489000 par an, en comptant 17 heures de travail par jour.

Dépenses par kilomètre-voiture (traction mécanique).

Frais généraux, contributions, etc. . .	0,277 *f*
Service de voyageurs	0,126
Voie et bâtiments.	0,112
	0,515 *f*

L'auteur examine ensuite les dépenses spéciales à chaque système de traction, qui sont les dépenses de traction proprement dite et les dépenses d'entretien du matériel roulant.

1° *Traction Serpollet.* — Les dépenses de traction et d'entretien du matériel ont été de 0,413 *f* à la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine, se décomposant comme il suit :

Production de vapeur	0,174 *f*
Mécaniciens	0,103
Entretien	0,136
	0,413 *f*

2° *Traction Rowan.* — D'après un rapport de M. Ziffer au Congrès de l'Union internationale de Tramways en août 1898, le prix de revient de la traction Rowan est de 0,346 *f* à la Compagnie générale des Omnibus de Paris.

3° *Traction à l'air comprimé.* — Les dépenses par kilomètre-voiture sont de :

0,364 *f* à la Compagnie des Nogentais. . . .	Traction 0,264 *f*, Matériel 0,100 *f*.
0,353 *f* à la Compagnie de Saint-Maur-les-Fossés	Traction 0,198 *f*, Matériel 0,155 *f*.
0,271 *f* à la Compagnie des Tramways de Nantes	Traction 0,198 *f*, Matériel 0,073 *f*.
et 0,373 à la Compagnie d'Aix-les-Bains. . .	Traction 0,224 *f*, Matériel 0,149 *f*.

Mais il faut tenir compte de ce que les automobiles des deux premières Compagnies sont de 50 places tandis que celles de la troisième sont de 32 places seulement.

Si, en outre, on tient compte de ce que le prix du charbon et des huiles, etc., et les salaires sont plus élevés à Paris, on peut admettre un prix moyen de 0,350 *f* par kilomètre-voiture.

Traction par trolley. — M. Marquet cite les chiffres qu'il a recueillis sur les dépenses d'exploitation de différents réseaux et, pour bien définir dans quelles conditions de trafic ces réseaux sont exploités, il a indiqué le nombre annuel de kilomètres-voiture par kilomètre de ligne, c'est-à-dire ce que l'on peut appeler la *fréquentation* de la ligne.

DÉSIGNATION DES RÉSEAUX	NOMBRE DE KILOM.-VOIT. par kilom. de réseau	DÉPENSES PAR KILOMÈTRE-VOITURE		TOTAL
		TRACTION	MATÉRIEL	
		f	*f*	*f*
Clermont-Ferrand à Royat.	58975	0,174	0,026	0,200
Réseau suburbain d'Angers	36312	0,126	0,013	0,139
Réseau urbain d'Angers	71660	0,144	0,009	0,123
Versailles à Saint-Cyr	11288	0,125	0,089	0,214
Rennes.	55986	0,113	0,012	0,125
Le Havre.	76997	0,181	0,040	0,221
Rouen	77850	0,120	0,073	0,193
Dijon	54392	0,105	0,025	0,130
Besançon.	»	»	»	0 244
Lyon-Croix-Rousse à Caluire. . . .	39000	0,166	0,051	0,217
Châlons-sur-Marne	47904	0,125	0,021	0,146

A tous ces chiffres il faudrait ajouter 0,01 *f* pour l'entretien du fil aérien. Du tableau précédent il résulte que, dans le cas d'une ville comme Paris, on peut admettre que le prix moyen du kilomètre-voiture serait de 0,22 *f*, comme l'ont indiqué MM. Godfernaux et Périssé.

Traction par accumulateurs. — La Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine a mis successivement en service trois types de voitures à accumulateurs ; avec les anciennes voitures la dépense était de 0,509 *f* par kilomètre. Les voitures du deuxième type ne dépensaient plus que 0,36 *f*; quant aux voitures du troisième type elles ne dépensent probablement que 0,32 *f* par kilomètre.

6° *Traction électrique par caniveau.* — Les installations de ce genre étant assez rares en France, ou bien faisant partie de réseaux où d'autres modes de traction sont employés, il est assez difficile d'avoir des renseignements.

Les tramways de Blackpool, qui emploient des voitures de 48 à 54 places, accusent les dépenses suivantes par kilomètre-voiture.

Personnel.	0,105 *f*
Entretien de la canalisation. . . .	0,023
— des moteurs	0,030
— des voitures et de l'usine.	0,021
Peinture et décoration	0,012
Charbon, coke, huile	0,046
Eau et gaz	0,023
TOTAL	0,260 *f*

Aux tramways de Buda-Pest, on a :

Entretien de la canalisation. . . .	0,028 *f*
— du matériel	0,050
Traction et ateliers	0,173
TOTAL.	0,251 *f*

M. Marquet adopte ce chiffre de 0,251 *f* par kilomètre-voiture.

7° *Traction Claret-Vuilleumier.* — Les dépenses d'exploitation peuvent se décomposer comme suit :

Usines et dépôts	0,103 *f*
Ligne électrique.	0,010
Matériel roulant.	0,050
Wattmann	0,080
TOTAL.	0,243 *f*

8° *Traction Diatto.* — Les renseignements manquent sur les dépenses d'exploitation par ce système, mais on peut très vraisemblablement admettre qu'elles se rapprochent des précédentes, quoique inférieures sans doute, et prendre le chiffre de :

0,240 *f*.

En résumé, les dépenses d'exploitation, dans les différents cas, se présentent comme il suit, dans le cas d'une ville comme Paris :

Dépenses communes à tous les modes de traction . 0,515 *f*.

Dépenses spéciales :

Traction par trolley	0,220 *f*
— Diatto	0,240
— Claret	0,247
— par caniveau	0,251
— par accumulateurs. . . .	0,320
— par l'air comprimé . . .	0,350
— Rowan.	0,364
— Serpollet.	0,413

Et les dépenses totales par kilomètre-voiture sont les suivantes :

	Intérêt et amortissement.	Dépenses d'exploitation.	Total.
Traction par trolley	0,244 *f*	0,735 *f*	0,979 *f*
— Diatto	0,269	0,755	1,024
— Claret	0,276	0,762	1,038
— par accumulateurs .	0,247	0,835	1,082
— par l'air comprimé .	0,252	0,865	1,117
— par caniveau. . .	0,354	0,766	1,120
— Rowan.	0,251	0,879	1,130
— Serpollet.	0,211	0,928	1,139

II. — CAS D'UNE PETITE VILLE DE PROVINCE

M. Marquet a suivi la même marche que ci-dessus mais en se basant sur les hypothèses suivantes :

1° Voie.

Longueur de la ligne, 10 *km*.

Voie simple en rail de 36 *kg*, 26 000 *f* le kilomètre. On comptera en plus 1 *km* pour les voies d'évitement.

Équipement électrique de la voie pour système à trolley à poteaux-consoles, 16 000 *f* le kilomètre.

2° Matériel roulant.

Les voitures de 30 places coûtent, suivant les systèmes :

Rowan.	25 000 *f*
Serpollet	18 000
Mékarski.	14 000
A accumulateurs	18 000
A trolley	13 000

Le nombre de voitures nécessaires peut se déterminer ainsi :

Départ : toutes les dix minutes au maximum, tous les quarts d'heure en moyenne. Vitesse commerciale, 10 *km*. 12 voitures sont nécessaires : et en tenant compte de 2/3 pour les réserves, il en faudra 16 dans le cas des automobiles sans foyer et 17 dans le cas d'automobiles à foyer.

Les dépenses totales de matériel roulant seront donc de :

Traction	Rowan.	425 000 *f*
—	Serpollet.	306 000
—	à air comprimé	224 000
—	a accumulateurs.	288 000
—	a trolley.	208 000

3° Dépôts, ateliers et magasins.

40 m^2 par voiture à 50 *f* le mètre carré, soit 2 000 *f* par voiture.

4° Usines.

Le prix des voitures varie suivant le mode de traction.

α. — *Traction par l'air comprimé.* — Consommation d'air par kilomètre-voiture, 7 *kg*, soit pour 12 voitures en service simultanément et parcourant 10 *km* par heure, une dépense de 840 *kg* d'air comprimé ; 1 cheval-vapeur donne 5 *kg* ; puissance de l'usine, 168 *ch*. En tenant compte de 1/3 pour les réserves, 230 *ch*. Pour une petite usine, on peut compter 750 *f* par cheval tout équipé. Prix de l'usine, 173 000 *f* dont 46 000 pour les bâtiments.

β. — *Traction par accumulateurs.* — 15 *ch* par voiture en service, soit 180 *ch* ; 240 avec les réserves. Prix du cheval tout équipé, 800 *f*. Prix de l'usine, 192 000 *f* dont 46 000 pour les bâtiments.

γ. — *Traction par trolley.* — Pour une ligne à faible fréquentation, on compte 25 *ch* à l'usine par voiture en service, soit 300 *ch* et 400 avec les réserves. Prix du cheval tout équipé, 800 *f*. Prix de l'usine, 240 000 *f*, dont 46 000 pour les bâtiments.

En résumé, les dépenses totales de premier établissement sont dans le second cas.

Traction	Rowan	745 000 *f*
—	Serpollet.	626 000
—	à air comprimé	715 000
—	par accumulateurs. . . .	798 000
—	à trolley	946 000

Les charges qui en résultent pour l'exploitation sont, dans les mêmes hypothèses que précédemment, les suivantes :

	Charges totales.	Charge par kilomètre-voiture (1).
	—	—
Traction Rowan	87 110 *f*	0,213 *f*
— Serpollet	70 450	0,172
— à air comprimé. .	74 980	0,183
— à accumulateurs .	85 972	0,210
— à trolley	96 108	0,235

Dépenses d'exploitation.

Comme ci-dessus, elles comprennent :

A. — Les Dépenses communes à tous les modes de traction par kilomètre-voiture :

Frais généraux et divers	0,10 *f*
Service des voyageurs.	0,08
Voie et bâtiments	0,07
Total.	0,25 *f*

B. — Les Dépenses spéciales de traction et matériel, variables avec les systèmes adoptés.

1° *Traction Serpollet.*

Production de vapeur	0,12 *f*
Mécanicien	0,06
Entretien du matériel	0,14
Total	0,32 *f*

2° *Traction Rowan.* — On peut prendre le chiffre de 0,20 *f*, moyenne entre les deux chiffres ci-dessous :

Tramways de Tours à Vouvray. . .	0,239 *f*
— bretons	0,157

3° *Traction à l'air comprimé.* — M. Marquet adopte le chiffre des tramways de Nantes, soit 0,270 *f*.

(1) 4 900 kilomètres-voiture en supposant quatorze heures de travail par jour.

4° *Traction à accumulateurs.* — Avec les voitures à 32 places on peut admettre un prix de revient de 0,25 *f* au kilomètre-voiture.

5° *Traction à trolley.* — Les conditions d'exploitation des tramways de Fontainebleau, Rennes, Dijon, peuvent être prises comme type, et le chiffre de 0,170 *f* pour la dépense par kilomètre-voiture paraît présenter une marge suffisante pour couvrir tout aléa.

En résumé, les dépenses totales par kilomètre-voiture s'établiraient comme suit dans le cas d'une petite ville :

	Intérêts et amortissements.	Dépenses d'exploitation.	Total.
Traction par trolley	0,235 *f*	0,420 *f*	0,655 *f*
— Rowan.	0,213	0,450	0,663
— à air comprimé . . .	0,183	0,520	0,703
— par accumulateurs .	0,210	0,500	0,710
— Serpollet	0,172	0,570	0,742

M. P. Regnard fait remarquer qu'aucun renseignement n'est donné dans la partie du mémoire qui traite des prix de revient des divers systèmes de traction mécanique, sur le prix afférent à la traction funiculaire. Ce renseignement ne manquerait pourtant pas d'intérêt. Le funiculaire de Belleville, sur lequel on plaisantait autrefois si volontiers, et bien à tort, a suffisamment fait ses preuves aujourd'hui. Si on considère les services inappréciables qu'il rend à une partie de la population parisienne, et son extrême bon marché, puisque le prix du parcours total n'est que de 0,05 *f* et que l'affaire semble bonne pour ceux qui l'ont entreprise, on est porté à penser que son prix de traction doit être inférieur à celui de la plupart des autres systèmes.

M. H. Rodrigues-Henriques, à propos du funiculaire de Belleville, fait observer que la vitesse du câble est de 11 *km* environ à l'heure (au lieu de 10) et que les frais de traction par train-kilomètre de deux voitures (57 places en tout) montent à environ 0,55 *f* (au lieu de 0,72 *f*.)

Il est d'ailleurs difficile de savoir exactement ce que chaque

Compagnie fait entrer dans ces frais. Il indique entre autre les renseignements statistiques intéressants suivants :

1° Voyageurs transportés :

En 1898	4.923.941
En 1899	5.192.269

2° Rapport des places occupées aux places offertes :

En 1898	67,8 0/0
En 1899	66,3 0/0

3° Nombre des voyages effectués par trains de deux voitures :

En 1898	131.060
En 1899	138.013

4° Recette brute kilomètre-voyageur (2 *km* de longueur par kilomètre de voie) :

1898 . . . . Fr.	232.920,25
1899	245.338,45

Le fils de notre ancien président, M. J.-B. Hersent, a écrit une lettre qui peut se résumer ainsi qu'il suit :

Les auteurs prennent comme exacts les chiffres donnés par M. de Marchéna, sur les rendements de l'air comprimé, qui varieraient entre 27 et 38 pour cent. Ce calcul est établi en négligeant la plus grande partie de l'effet du réchauffage de l'air par la vapeur avant et pendant la détente, alors que ce réchauffage forme la base fondamentale de tous les systèmes de transmission de force par l'air comprimé: sans le réchauffage, si la température extérieure est 0°, ou au-dessous, le rendement est nul, la détente n'étant qu'une transformation en travail des calories contenues dans la masse d'air. Au surplus, les calculs complets du rendement, en tenant compte du réchauffage, se trouvent dans l'ouvrage sur l'air comprimé appliqué aux tramways, de notre collègue, M. Barbet, et ces calculs démontrent que le rendement est de 65 pour cent.

Les prix de revient de traction doivent, pour être précis et indiscutables, être les résultats d'une exploitation réelle notés par une comptabilité administrative. Établir des prix de revient en supposant 80 pour cent de rendement au moteur, pour le système Rowan, 2 *kg* de coke consommé par cheval pour le Serpollet, 85 pour cent pour le rendement du moteur Francq, etc.,

paraît une méthode un peu capricieuse. De même pour les frais d'entretien, il faut indiquer la source des renseignements dont ils ont été déduits ; autrement, chaque auteur, pourra prendre tels chiffres qui lui conviendront pour arriver au classement au premier rang du système préféré. Ainsi, les auteurs classent second, avec un prix de revient de 0,31 *f* la traction par accumulateurs, alors que par des marchés qui n'ont pas encore reçu la sanction de la pratique, ce système revient aux environs de 0,40 *f* aux Compagnies de tramways. Pour l'air comprimé, le prix de traction a été établi en prenant pour l'entretien du matériel un chiffre de 0,11 *f* par kilomètre-voiture, alors que la comptabilité de Vichy indique 0,07 *f* et la comptabilité de Nogent 0,075 *f*.

M. J.-B. Hersent a tenu à signaler ces chiffres pour qu'on ne juge pas trop défavorablement, et sans enquête, les prix de revient de l'exploitation par les systèmes non électriques. L'électricité a eu la bonne fortune de fixer l'attention des Ingénieurs qui l'ont incessamment perfectionnée, les autres systèmes sont, au contraire, presque restés stationnaires. Dans l'air comprimé, M. Hersent a fait à Vichy et à Nogent, d'accord avec son collègue M. Barbet, des essais pour remplacer les moteurs ordinaires par des moteurs Compound où l'air se mélange à la vapeur avant l'entrée dans le premier cylindre et, à sa sortie de ce premier cylindre, passe dans un serpentin où le mélange est réchauffé de nouveau avant de travailler dans le second cylindre. Ces essais ont donné d'excellents résultats, d'abord au point de vue de la consommation d'air, qui a été réduite de 15 pour cent, puis au sujet du réchauffage qui, se faisant dans un appareil à feu continu, n'obligeait pas à des rechargements de vapeur incommodes. Les avantages que présentent des systèmes qui ne nécessitent pas l'installation, dans les rues, d'appareils compliqués, gênants et disgracieux, sont indéniables, et M. Hersent a tenu à attirer sur les systèmes non électriques l'activité de nos collègues qui les mettrait aisément à même de lutter, à tous les points de vue, et avantageusement, contre les meilleurs systèmes électriques.

M. Ed. Badois, dans une note succincte, dont il donne lecture, démontre que le système de traction par l'air comprimé a un rendement meilleur que celui qui lui est attribué par MM. Périssé et Godfernaux.

Il rappelle que M. Mékarski a réalisé d'aussi près que possible le régime isothermique, aussi bien pour la période de compression que pour celle de détente et d'action; qu'en particulier son invention se caractérise par le réchauffage de l'air préalablement à son admission au cylindre moteur et l'addition au mélange d'un peu de vapeur chaude; une température convenable est ainsi maintenue pendant la détente, et jusqu'à l'échappement final, par échange de chaleur intermoléculaire, ce qui est très important.

Il rappelle aussi qu'en 1895, en opposition avec l'affirmation de M. de Marchéna, que le travail recueilli aux jantes de la voiture à air comprimé ne pouvait être que 0,18 à 0,20 de celui indiqué à la machine fixe de l'usine, il avait indiqué que ce rapport, en marche industrielle, était de 0,357 aux chemins de fer Nogentais et pouvait atteindre et dépasser 0,57 avec des appareils plus parfaits.

Plusieurs faits sont venus confirmer ces dernières estimations. Les premières maisons de constructions mécaniques ont proposé et fourni des appareils de compression, avec garantie de production de 6 *kg* d'air comprimé jusqu'à 80 *kg* de pression, par kilogramme de charbon brûlé, ce qui correspond à 4,20 *kg* d'air comprimé à cette pression, par cheval-vapeur obtenu, avec 700 *gr* de charbon à l'heure. Le kilogramme d'air comprimé à cette pression coûte donc environ 64 000 *kgm* de puissance; ce même kilogramme d'air, sur la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes, vainc une résistance, aux jantes des roues, de 23 874 *kg*; le rapport est $\frac{23\,874}{64\,000} = 0{,}373$.

Le rendement calculé par les auteurs du mémoire, soit 0,27 pour l'air comprimé à 80 *kg* est donc erroné. Cela vient de ce qu'ils n'attribuent à l'ensemble de la machine à vapeur et du compresseur qu'un rendement de 0,464 à 0,504, tandis que l'on obtient dans les bonnes installations 0,79 et qu'on a à l'usine Popp à Paris 0,8084.

Il faut, d'après cela, rectifier les conclusions relatives au prix de revient de la traction à l'air comprimé. La tonne d'air comprimé ne coûte pas 18 *f*, mais 12 *f*. D'autre part, il n'est pas légitime de compter 0,11 *f* par kilomètre pour l'entretien des voitures à air comprimé, tandis qu'il n'est compté pour les voitures électriques, de même contenance, que 0,05 *f* pour cet entretien; en réalité, il doit être sensiblement le même dans le dernier cas.

On arrive ainsi, comme dépense de traction par voiture-kilomètre à 0,243 *f*, au lieu de 0,359 *f*. Cela est confirmé par les résultats effectifs d'une exploitation bien conduite et bien surveillée qui donnent moins de 0,25 *f*. Ce prix s'entend pour une voiture automotrice se véhiculant seule. L'air comprimé a l'avantage, dont ne jouissent pas en général, dans des conditions aussi commodes, les systèmes électriques, en particulier le système par accumulateurs, de pouvoir mettre en remorque une voiture d'attelage, quelquefois deux. Dans ce cas, le coût de la traction de l'automotrice et d'une voiture attelée n'est que 0,324 *f*, soit 0,243 pour la première et 0,081 *f* pour la voiture ajoutée.

M. Badois termine en disant qu'il faut bien croire que ce système de traction présente des avantages économiques réels puisque la Compagnie générale des Omnibus, après les services réalisés sur ses lignes les plus ingrates et les plus difficiles, Saint-Augustin-Cours de Vincennes et Louvres-Versailles, a créé une nouvelle usine dont la puissance totale atteindra 10 000 *ch* et qui fournira l'air comprimé à 140 nouvelles voitures destinées au service de plusieurs lignes.

Cette invention, éminemment française, réalise ainsi les espérances qu'elle avait fait concevoir en 1876, lors des premières expériences.

M. A. Lavezzari présente deux observations à ce qu'il vient d'être dit.

Il répond d'abord à M. Badois, relativement à l'avantage de la traction par l'air comprimé sur l'électricité, parce que le premier procédé se prête parfaitement à la remorque des voitures sans moteur, ce qui est difficile avec les voitures à accumulateurs.

M. Lavezzari ne saurait laisser passer cette théorie sans la combattre, en effet, la traction par les procédés électriques admet parfaitement les remorques et les accumulateurs, en particulier, sont très favorables à cette solution, qui permet d'utiliser à l'adhérence leur poids, dont on leur a fait si souvent un reproche.

Mais ceci posé, il ne paraît pas intéressant à M. Lavezzari de multiplier le nombre des remorques, et il rappelle ce qu'il a déjà dit, dans de précédentes communications (*Bulletins* d'octobre 1895 et juillet 1896) qu'à son avis, et comme l'ont très bien dit MM. Périssé et Godfernaux, dès que le trafic s'accroît, ce n'est pas par l'augmentation de la capacité des convois qu'il faut y sa-

tisfaire, mais par l'*augmentation de la fréquence de ces convois.* Des voitures légères et peu coûteuses sont alors celles qui conviennent le mieux; la traction électrique avec prise de courant le long de la voie paraît être la plus avantageuse, tandis que l'air comprimé, la vapeur et aussi les accumulateurs, quoiqu'à un degré moindre, qui nécessitent de coûteuses automotrices se prêtent mal à ce mode d'exploitation judicieux.

La deuxième observation est plutôt une question : dans la lettre de M. Hersent, il est parlé du prix de revient assez faible de la traction par l'air comprimé à Vichy. M. Lavezzari a constaté, il y a quelques années, que l'usine de compression était mue par l'eau; il demande s'il en est encore ainsi, car ce serait un facteur important à faire intervenir dans la comparaison des prix de revient.

M. Ed. Badois a répondu, ainsi qu'il suit, aux deux observations précédentes :

Il est évidemment possible à une automotrice à accumulateurs, pour ce disposée, de remorquer une voiture d'attelage, mais ce système se prête mal à une semblable traction, et il ne peut l'effectuer que dans des conditions peu économiques, à cause de l'influence des démarrages.

On sait que l'effort à produire au moment du démarrage, est beaucoup plus grand que l'effort normal ou moyen, même en palier. Ce coup de collier n'est nécessaire que pendant un court instant, mais il n'en faut pas moins le réaliser. Avec l'air comprimé c'est tout ce qu'il y a de plus facile; le conducteur, agissant sur le détendeur fournit instantanément la pression voulue, double, triple ou quadruple, de la pression de marche, et la voiture part, même en rampe, même en présence d'un obstacle anormal; pour cela, rien n'est à changer dans les dispositions de l'automobile, on dépense seulement un peu plus d'air pendant la seconde où c'est indispensable. Avec les accumulateurs il est moins facile de faire varier l'effort instantanément, du simple au double ou au triple. La décharge se fait sous un voltage à peu près constant, et le débit en ampères ne peut varier brusquement sans inconvénients. Il faut donc, à cause des démarrages fréquents, munir les automobiles voyageant seules d'un poids supplémentaire d'accumulateurs importants; et quelquefois, cela ne suffit pas, car en cas d'augmentation insolite de la résistance, la voiture peut rester en panne. Qu'est-ce donc, s'il faut y ajou-

ter une voiture d'attelage? Un nouveau poids d'accumulateurs est à placer sur la voiture motrice et les inconvénients s'augmentent d'autant. Il en sera ainsi tant que l'on aura pas découvert un système d'accumulateur léger, permettant d'emmagasiner un nombre convenable de watts et de les restituer à volonté en faisant varier à la fois, entre de larges limites, le voltage et l'ampérage. Dans l'état actuel, l'économie que l'on pourrait trouver dans l'attelage d'une voiture est chèrement payée par le surcroît de poids mort des accumulateurs et l'entretien, les manutentions et autres inconvénients qui en sont la suite.

2° Dans l'installation de Vichy-Cusset, il y a, en effet, une chute hydraulique actionnant par une turbine les compresseurs, concurremment avec la force motrice à vapeur. Mais cela n'a pas, au point de vue de l'économie de production de l'air comprimé, les avantages que l'on pourrait croire, car il faut une transmission des moteurs aux compresseurs qui ne peuvent être actionnés directement. Or tout le monde sait que les transmissions par courroies entraînent une grande déperdition de force motrice, au moins 15 0/0, et souvent 25 0/0. L'avantage de la chute d'eau réside en ce que, dans cette exploitation spéciale, il y a deux périodes de trafic : l'été, saison des bains de Vichy, grand trafic et grand produit; l'hiver, huit mois de trafic réduit et produit bien moindre; c'est dans cette seconde période que la turbine fournit sans dépense de combustible l'air comprimé nécessaire. Il y a ainsi une sorte d'équilibre entre les conditions du coût de l'air comprimé et celles de son utilisation plus ou moins favorable.

M. A. Lavezzari est très heureux d'avoir suscité la réplique de M. Badois, qui a exposé un système d'exploitation très intéressant, car il permet de supprimer une partie importante des frais, les machines à vapeur, pendant la période de l'année la moins productive.

Mais, quant aux accumulateurs, il pense que c'est une erreur de croire que la nécessité de développer de grands effots au démarrage oblige à avoir des batteries beaucoup plus pesantes qu'il n'est nécessaire pour la marche courante. Ceci pouvait être vrai il y a quelques années, mais avec les progrès réalisés depuis quelque temps dans la construction des accumulateurs, on peut sans inconvénient, augmenter dans des proportions considérables le débit spécifique, pour un coup de collier.

Ainsi une batterie établie pour débiter un ou deux ampères par kilogramme de plaque en marche normale, peut très bien en donner quatre ou cinq et plus, pour les démarrages.

M. Lavezzari termine en disant qu'il est heureux d'avoir eu l'occasion de présenter la défense des accumulateurs sur lesquels les déboires inévitables du début ont jeté une défaveur un peu légendaire et souvent injuste.

M. Mékarski pense que, pour résoudre la question controversée, il suffit de considérer que l'intensité du courant fourni à la décharge par une batterie d'accumulateurs électriques est fonction du poids de cette batterie, tandis que la pression de l'air qui s'échappe d'un réservoir, où il a été préalablement enfermé, sous une pression élevée n'est pas directement fonction du volume et du poids de ce réservoir. On est en droit d'en conclure que, dans le premier cas, le poids du réservoir d'énergie limite l'effort de traction que la machine peut développer, tandis que, dans l'autre système, il est plutôt en relation avec le parcours à effectuer.

En fait, si l'on s'en rapporte aux données fournies par la pratique, croit-on qu'il serait prudent de desservir, au moyen d'automobiles électriques à accumulateurs, semblables à celles employées actuellement à Paris, une ligne d'un profil aussi accidenté que celle de Saint-Augustin au cours de Vincennes, dans les conditions où celle-ci est exploitée, depuis plus de cinq ans, au moyen d'automobiles à air comprimé ? Il y a donc autre chose à considérer que l'adhérence dans l'aptitude de chaque système à démarrer avec une certaine charge ou à gravir une rampe.

C'est, semble-t-il, cette difficulté spéciale aux accumulateurs électriques qui a amené la Compagnie des Omnibus à porter à plus de 5 *t* le poids des batteries dans les automobiles destinées à desservir la ligne de Vincennes au Louvre, dont le profil ne présente cependant aucune rampe d'inclinaison notable. On a voulu ainsi, sans doute, rendre ces machines capables de remorquer non seulement des voitures d'attelage ordinaire, mais même une autre automobile à laquelle serait survenue une avarie. Cette condition eût été remplie par des automobiles à air comprimé sans augmenter pour cela le poids du réservoir.

M. Mékarski a présenté au sujet du prix de revient de la traction à l'air comprimé des considérations qui peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

Les évaluations faites par les auteurs du mémoire s'appliquent assurément à des exploitations placées dans des conditions défavorables, car elles sont très supérieures au chiffre réalisé effectivement à Nantes. Il est certain que, dans cette ville, tout coûte un peu moins cher qu'à Paris ; néanmoins, on s'écarterait beaucoup de la vérité si l'on raisonnait, d'une façon générale, sur les chiffres donnés par M. Marquet, lesquels doivent se rapporter à des cas particuliers.

Ainsi, l'ensemble des frais d'exploitation comprenant, avec la traction et l'entretien du matériel, la direction locale, l'éclairage, la perception, le contrôle, l'entretien de la voie et des bâtiments, les contributions, assurances diverses, service médical, etc., s'élève à Nantes, en ce moment, malgré le haut prix des charbons, à environ 50 000 *f* par mois pour 100 000 kilomètres-voitures, soit 0,50 *f* par kilomètre. Or cette exploitation ne bénéficie pas, comme celles de date plus récente, de certaines atténuations de dépenses : frais d'entretien moins élevés, etc. Elle accomplira, en effet, le 13 du mois courant, sa vingt et unième année d'existence, ayant été mise en marche le 13 février 1879.

Il est intéressant de remarquer que les automobiles qui sont en service depuis cette époque fonctionnent encore aujourd'hui d'une façon très satisfaisante; cela fait voir que, pour le matériel à air comprimé tout au moins, la durée de l'amortissement du matériel roulant dépasse notablement le terme de dix ans admis par M. Marquet.

M. Mékarski appelle également l'attention sur la question de rendement du système de traction par l'air comprimé. Il fait connaître à nouveau, à la Société, comme on l'avait déjà fait en 1895, que le travail utile restitué sur les pistons des moteurs à air comprimé représente environ 0,45 de la puissance développée sur les pistons de la machine à vapeur, ce chiffre est donc même plus élevé que celui indiqué par M. Badois ; du reste, l'écart entre les deux chiffres provient simplement de ce que le chiffre de 0,45 comprend le rendement du moteur à air, qu'il n'y a pas lieu de faire entrer en compte lorsqu'on part de la puissance *indiquée* et non de la puissance *effective* du moteur à vapeur. Le véritable rendement du système doit alors, aux deux extrémités de la transmission, se mesurer sur les pistons.

Ce chiffre de 0,45 semble extraordinaire parce qu'on est habitué à considérer le rendement final comme le produit de plusieurs facteurs dont l'un est le rendement spécial du compresseur. Il

est évident que, même en admettant pour celui-ci un chiffre supérieur à ceux admis par MM. Godfernaux et Périssé, si l'on tient compte du rendement du moteur à vapeur et de la chute de pression entre le compresseur et le moteur à air, on ne comprend pas que l'on arrive finalement à 0,45.

L'explication du paradoxe est fort simple, c'est que la puissance utilisée par le récepteur n'a aucun lien de parenté avec celle empruntée au générateur d'énergie. En réalité, le travail du compresseur est complètement perdu, son rendement est absolument nul. La puissance qu'il absorbe est transformée en chaleur ; celle-ci, jouant dans la compression un rôle nuisible, est, en majeure partie, envoyée à l'égout avec l'eau servant à la réfrigération ; le surplus se dissémine dans l'atmosphère.

Le rendement du compresseur ne peut donc pas être un des éléments du rendement final, puisque celui-ci est réel. Le compresseur joue, en effet, un rôle très spécial, il ne transforme pas l'énergie comme la dynamo génératrice ; il produit simplement le transformateur en créant un potentiel, mais ce transformateur est un des meilleurs que l'on connaisse pour la conversion de calories en kilogrammètres. Ce sont les calories ainsi transformées qui fournissent l'énergie utilisée au moyen du moteur à air, que ce soient celles préexistant dans l'air avant la compression ou d'autres empruntées postérieurement à une source extérieure. Dans ce dernier cas, on dépense d'abord des kilogrammètres pour faire des calories que l'on perd, puis d'autres calories pour faire des kilogrammètres. Qu'y a-t-il d'étonnant à ce que l'on arrive, dans cette seconde opération, à un résultat assez voisin de celui donné par la première, en sens inverse? Il suffit de dépenser pour cela la quantité de chaleur correspondante et, à vrai dire, rien ne limite le rendement ainsi défini.

Cette conception est si vraie que les machines à air chaud où la double transformation laisse un excédent disponible d'énergie mécanique ne sont autre chose que des machines à air comprimé dont le rendement est supérieur à l'unité. Pour en arriver là, il faut se placer dans des conditions un peu spéciales, mais, en s'arrêtant à mi-chemin, comme on le fait dans la traction à air comprimé, on ne rencontre plus les mêmes difficultés et l'on retrouve encore une fraction suffisante de l'énergie mécanique employée pour la compression.

Telle est l'explication de ce rendement pratique élevé qu'on a tant de peine à admettre.

Il va de soi que moins l'on dépensera de puissance mécanique pour obtenir le même poids d'air comprimé, destiné à être utilisé à une pression et une température déterminées, plus le rendement pratique s'élèvera. Sous ce rapport, il est assurément avantageux de réduire le plus possible l'écart entre la pression à laquelle l'air est emmagasiné dans les réservoirs et celle à laquelle il est employé, écart d'ailleurs inévitable, puisqu'il exprime la somme d'énergie que le moteur à air, séparé du compresseur, est susceptible de fournir. Il convient toutefois de remarquer que, lorsque cet écart augmente en valeur absolue, la dépense supplémentaire d'énergie correspondant à une même différence de pression va elle-même en diminuant, ce qui permet, sans trop d'inconvénients, d'atteindre des pressions très élevées, quand cela est nécessaire. On peut d'ailleurs compenser entièrement la dépense supplémentaire en augmentant d'autant la température à laquelle on fait travailler l'air dans le moteur secondaire.

Abandonnant ce terrain, sur lequel il lui a paru nécessaire de porter le débat théorique, pour faire voir comment, dans cette question, la théorie se concilie avec la pratique, M. Mékarski croit nécessaire de relever dans le mémoire de MM. Godfernaux et Périssé des énonciations dont il résulterait qu'il existe entre le prix de revient de la traction par l'air comprimé et celui de la traction électrique par trolley une différence considérable, à l'avantage de cette dernière.

Admettant, d'une part, que la tonne d'air comprimé à la pression de 60 *kg* revient à 18 *f*, d'autre part que le kilowatt-heure coûte en moyenne 0,08 *f*, nos Collègues en concluent que le prix moyen de la force motrice est, pour l'air comprimé, 0,169 *f* par kilomètre-voiture et pour le trolley seulement 0,08 *f*.

Il est facile de trouver un terme de comparaison entre ces deux évaluations, en partant dans les deux cas du cheval-heure mesuré sur les pistons de la machine motrice à laquelle l'énergie est empruntée.

M. Mékarski ne pense pas qu'il puisse soulever aucune contradiction en admettant qu'un cheval-heure indiqué fournit au maximum, dans une exploitation de tramways, 550 watts aux bornes de la dynamo génératrice. D'autre part, MM. Godfernaux et Périssé évaluent à 3,24 *kg* la production normale par cheval-heure d'un compresseur d'air travaillant à 60 *kg*. Cela étant, dans le cas du trolley, le prix du cheval-heure reviendrait à

0,55 × 0,08 *f* = 0,044 *f* et, dans le cas de l'air comprimé, à 3,24 *kg* × 0,018 = 0,0583 *f*, soit 32,5 0/0 plus cher. Pourquoi cette différence ? On ne saurait raisonnablement soutenir que la même machine dépensera plus de charbon, de graissage, d'entretien, etc., quand elle sera employée à comprimer de l'air que lorsqu'elle fera de l'électricité.

On commence en ce moment même, à Paris, sur une machine de 1 000 *ch*, des essais dont M. Mékarski se propose d'entretenir dans quelque temps la Société. Ces essais paraissent devoir établir qu'on peut obtenir par cheval-heure indiqué environ 4 *kg* d'air à la pression de 80 *kg*, soit évidemment plus de 4 *kg* à celle de 60 *kg*. Si l'on refait le calcul sur cette nouvelle base, on trouve que le cheval-heure est compté à l'air comprimé 0,075 *f*, ou 70 0/0 plus cher qu'à la traction électrique.

Pareillement, les frais d'entretien du matériel roulant sont évalués par MM. Godfernaux et Périssé à 0,11 *f* pour l'air comprimé et 0,05 *f* seulement pour le trolley. Or ces frais ne s'élèvent, à Nantes, qu'à ce dernier chiffre et s'ils le dépassent à Paris, il y a lieu de croire que, dans les mêmes conditions, le trolley ne serait pas plus favorisé. Il ne semble pas, en effet, qu'il y ait aucune raison bien déterminante pour que l'entretien des mouvements simples et robustes des automobiles à air comprimé soit plus dispendieux que celui des dynamos et de leurs engrenages; quant aux bandages, freins, attelages. etc., dont l'entretien constitue une notable partie des dépenses de ce genre, ils grèvent également tous les systèmes, dans les mêmes conditions.

Si l'on rectifie d'après ce qui vient d'être dit les évaluations de MM. Godfernaux et Périssé, il ne semble pas qu'il y ait lieu de faire, sous ce rapport, beaucoup de différence entre l'air comprimé et le trolley.

En ce qui concerne les accumulateurs, on peut s'étonner que, dans leur estimation des dépenses de traction par ce procédé, MM. Godfernaux et Périssé comptent la force motrice pour 0,08 *f* par kilomètre-voiture, soit le même chiffre qu'avec le trolley, bien qu'ils aient exposé eux-mêmes, dans le cours de leur étude, que l'emploi des accumulateurs fait perdre 30 0/0 de l'énergie dépensée pour la charge.

M. E. de Marchéna fait observer que les dépenses d'exploitation dépendent énormément des conditions particulières dans lesquelles elle est faite et qu'en particulier, il n'est pas possible

de comparer des résultats trouvés dans une ville de province, comme Nantes, avec d'autres résultats trouvés à Paris. Il cite deux exemples d'exploitation de tramways électriques avec le même type de voitures, le même matériel, les mêmes machines motrices; dans la première, les dépenses totales d'exploitation, y compris tous les frais indiqués par M. Mékarski pour Nantes, se sont abaissés à 0,27 *f* par kilomètre d'automotrice (à Amiens). Dans l'autre (à Alger), ces mêmes dépenses se sont élevées de 0.45 *f* à 0,50. C'est dire combien les comparaisons entre systèmes différents sont difficiles à présenter d'une manière équitable.

En ce qui concerne le cas particulier du rendement du système à air comprimé, il a été beaucoup discuté à ce sujet. M. de Marchéna n'a bien certainement pas négligé dans ses évaluations antérieures de tenir compte du réchauffage préalable de l'air qui seul rend possible l'emploi de l'air comprimé. Sans entrer dans de longs calculs et même en admettant la réalisation parfaite des meilleures conditions théoriques : compression et détente isothermiques, il suffit de se souvenir que, dans ce système, il faut comprimer l'air à 60 ou 80 volumes pour ne le détendre qu'à 2 ou 3 volumes pour apprécier la différence entre le travail dépensé et le travail recueilli. A défaut de calculs la simple comparaison des diagrammes suffirait.

Il semble, d'ailleurs, que le temps de ces discussions théoriques soit passé. Il y a depuis longtemps des exploitations à air comprimé à Paris et aux environs ; il serait plus intéressant de connaître les résultats effectifs, par exemple la dépense de charbon par kilomètre-voiture. M. Mékarski pourrait probablement nous donner des chiffres à ce sujet pour la ligne Vincennes-Saint-Augustin.

M. de Marchéna fait d'ailleurs observer qu'il y a d'autres considérations que celle du rendement et même que celle des faibles dépenses d'exploitation. Il est toujours intéressant d'exploiter à bon marché. Mais il faut aussi faire des recettes et, pour cela, il faut assurer le service.

Dans une ville comme Paris, où le trafic est énorme et assure des recettes très élevées par kilomètre-voiture, la régularité du service est une condition primordiale du succès, et on peut dire, à la louange de l'air comprimé, qu'il a rempli parfaitement cette condition. Ce système peut donc se défendre à Paris, non pas par son économie (cela est impossible), mais par sa robustesse et la sécurité qu'il donne.

Mais ce qui est possible à Paris ne l'est pas en province et la plupart des exploitations ne pourraient se permettre l'emploi d'un système aussi coûteux. A Amiens, par exemple, on gagne de l'argent avec l'électricité et on se serait ruiné avec l'air comprimé.

L'avantage particulier des systèmes électriques est de se prêter aussi bien à l'exploitation des villes populeuses à trafic intense qu'à celui des petites villes à faible trafic. Ils possèdent une élasticité très considérable d'autant plus précieuse que quand on ouvre une ligne au service, il est souvent bien difficile de prévoir à l'avance le trafic qu'elle donnera et la puissance de transport à lui affecter.

M. de Marchéna cite, en particulier, l'exemple de la ligne de Bastille-Charenton qui perdait de l'argent exploitée à chevaux et qui fait maintenant un million de recettes par an avec une longueur de 6 *km*. Le nombre de voitures automotrices primitivement prévu a dû être doublé et on a dû leur ajouter à toutes des remorques.

Avec l'électricité, il est ainsi très facile d'étendre un réseau, de prolonger une ligne, de créer des branchements nouveaux.

Avec l'air comprimé on est enserré dans d'étroites limites par la nécessité du rechargement des réservoirs et des bouillottes en des points fixes et par la limite du parcours des voitures. Ainsi, une voiture affectée à une ligne spéciale ne peut être ensuite affectée à une autre.

Au point de vue de l'entretien, les systèmes électriques présentent le grand avantage d'être constitués par un certain nombre d'éléments indépendants et interchangeables; les réparations sont donc très faciles et très promptes, puisqu'elles se réduisent à un simple remplacement de pièces (armature des moteurs, bobines d'inducteurs, pignon d'engrenages, etc.) par d'autres qui sont toutes prêtes en magasin.

Au contraire, avec le système à air comprimé, il y a tout un ensemble de cylindres, de réservoirs, de tuyauterie et de robinetterie qui se tient et qui fait qu'en cas d'avarie partielle il faut ramener la voiture au dépôt et faire une véritable réparation.

En terminant, M. de Marchéna dit quelques mots sur les accumulateurs qui, à son avis, valent mieux que leur réputation et peuvent rendre de grands services à Paris où les concessions des différentes Compagnies sont tellement enchevêtrées et présentent tant de tronçons communs que l'indépendance des voitures de-

vient une chose très souhaitable. Il cite l'exemple de Berlin, où les accumulateurs employés dans des conditions rationnelles ont donné d'excellents résultats.

Répondant à une observation de M. Badois, M. de Marchéna fait observer que si le profil est plat à Berlin les démarrages sont extrêmement fréquents dans les rues exploitées à accumulateurs, par suite de leur encombrement.

En réponse à une observation de M. le Président, il fait remarquer qu'aucune comparaison n'est possible entre les accumulateurs à oxydes rapportés de grandes capacités employés pour les automobiles et les accumulateurs genre Planté employés pour les tramways. Ces derniers ont une capacité spécifique bien plus faible, mais peuvent supporter sans fatigue des régimes de décharge et de charge très intenses; aussi le poids de la batterie est-il déterminé par la considération de la capacité nécessaire, tout comme pour l'air comprimé et non pas par la considération de la puissance, durant les coups de collier. Il cite également quelques chiffres d'entretien, disant que des contrats ont été basés avec des Compagnies d'accumulateurs sur des prix de 7,5 à 8 centimes par kilomètre-voiture à Paris et de 5,5 à 6 centimes à Berlin. Ces chiffres n'ont toutefois pas une signification bien précise, car si une Compagnie d'accumulateurs qui prend la charge de l'entretien possède une expérience et des facilités plus grandes pour cet entretien, par contre, elle doit subir des frais généraux et des charges fixes qui viennent grever inutilement ces dépenses d'entretien et qui sont particulièrement lourds pour les petites installations.

M. de Marchéna rappelle enfin que les accumulateurs constituent souvent, comme cela a été dit, une solution d'attente, à peu de frais, jusqu'au moment où l'intensité du trafic vient justifier les dépenses de premier établissement très considérables qu'entraîne à Paris le remplacement des voies, pour l'emploi des systèmes de transmission souterraine.

M. E. Badois fait observer que M. de Marchéna ne pouvait choisir un exemple plus favorable à l'emploi de l'électricité par des voitures à accumulateurs électriques. Car il n'y a guère de ville plus complètement plate que Berlin : sur les deux tiers de la surface, soit sur plus de 4000 *ha*, les rues ne présentent peut-être pas 3 *m* de différence de niveau. Vers l'extrémité nord seulement, le sol s'élève graduellement, et en un seul point on cons-

tate une élévation de 12 ou 15 *m* par rapport aux quais de la Sprée. C'est tout autre chose que les lignes accidentées de Paris, qui gravissent les pentes de Batignolles, de Belleville ou de Ménilmontant, et il faudrait voir la figure que feraient sur ces lignes les voitures à accumulateurs de Berlin, si elles y étaient transportées telles quelles.

M. de Bovet pense que l'intéressante discussion devrait être continuée dans une séance prochaine ; dans ces conditions, il demande la permission d'exprimer un vœu. Il lui semble infiniment désirable, en effet, pour que le débat soit complet, d'y faire intervenir un élément qui a été par trop négligé.

Il a été, en effet, beaucoup question de ce que coûte le kilomètre-voiture et M. Marquet a communiqué notamment les résultats du classement qu'il a fait à ce point de vue des divers systèmes, dans des conditions d'exploitation déterminées. Mais on n'a vraiment pas assez parlé de ce que rapporte le kilomètre-voyageur et des moyens possibles d'en augmenter le produit.

M. de Bovet fait observer que ce n'est plus au point de vue du producteur, mais c'est à celui du consommateur qu'il se place.

M. Marquet a admis qu'entre une très grande ville et une ville d'importance moyenne la différence du service doit se traduire par ce fait que, dans la première, les départs de voiture seront très fréquents et que, dans la seconde, ils seront beaucoup plus rares.

Cette hypothèse ne semble pas conforme à ce qui est désirable. Selon les régions, la population a plus ou moins de tendance à se déplacer beaucoup ; il doit y avoir ce qu'on pourrait appeler un coefficient de mobilité et ce doit être, pour une grosse part, le but d'une entreprise de transports en commun que de faire que ce coefficient soit aussi élevé que possible. On peut douter que le moyen efficace de l'augmenter, ou même de l'entretenir consiste à ne mettre en service que des voitures passant rarement. A Nantes, par exemple, les exploitants se sont trouvés, dès le début, en présence d'une population toute disposée à circuler abondamment ; d'autre part, à Rouen, il n'en était pas tout d'abord ainsi, et il est permis de supposer que c'est grâce à la fréquence très grande des passages de voitures que les habitudes locales se sont rapidement modifiées.

Ceci dit sans prétendre, pour le moment, en tirer argument

pour ou contre l'air comprimé ou le trolley; or, il est évident que l'un et l'autre système peuvent mettre en circulation le même nombre de véhicules.

A un autre point de vue, M. de Bovet appelle l'attention sur ce qu'il appelle les beautés du système du « complet partout » sur presque toute la longueur du parcours; au contraire, dans d'autres villes, grâce au système de la voiture assez fréquente pour qu'il y ait de la place toujours et partout, grâce à des tarifs très bas, le public se renouvelle perpétuellement tout le long du trajet.

Avec le premier système, les recettes d'une ligne sont, à bien peu près, proportionnelles au nombre de voitures mises en service. Il peut n'en pas être de même avec le second : ce n'est pas nécessairement une infériorité même au point de vue de l'exploitant, pour peu que l'accroissement du nombre de kilomètres-voitures soit plus rapide que la diminution du bénéfice par kilomètre-voiture. Il y a là, encore, un élément qui peut influer considérablement sur les habitudes d'une population.

Des considérations aussi importantes pour le public ne peuvent pas être laissées de côté, car elles peuvent se traduire, selon l'importance des localités, par des modifications dans la grandeur des voitures ou dans le nombre des lignes à desservir, plutôt que par des variations très grandes dans la fréquence des départs.

M. de Bovet souhaite que ceux de nos Collègues qui nous ont montré connaître si bien ces questions complètent, en tenant compte de ce point de vue trop négligé jusqu'ici, les renseignements qu'ils veulent bien apporter à la Société.

M. H. de Marchéna pense que la question soulevée est très complexe. Le prix de la traction y intervient d'une façon prédominante. Avec des tractions coûteuses comme la traction animale, il faut des recettes par kilomètre-voiture considérables, car il faut avant tout qu'elles dépassent les dépenses. Pour cela, il faut avoir, d'une part, un tarif élevé et, d'autre part, un grand coefficient de remplissage. Sur certaines lignes à Paris, ce coefficient atteint 100, 125 0/0 et même 130 0/0. C'est dire que l'on fonctionne au régime du complet, et il est difficile de faire autrement puisque, malgré ces conditions particulières et le tarif très élevé de Paris, le coefficient d'exploitation (rapport des dépenses aux recettes) atteint 85 à 90 0/0.

Quand une ligne est surchargée, la recette croît d'abord proportionnellement aux voitures mises en service ; mais, à partir d'un certain moment, il n'en est plus de même et l'augmentation de la recette est moindre que celle du parcours. Toutefois quand les dépenses d'exploitation sont faibles, on a encore intérêt à dépasser ce point et à forcer l'activité de la circulation aussi longtemps que les recettes supplémentaires dépassent les dépenses supplémentaires. On peut donc aller d'autant plus loin dans cette voie que le système employé est plus économique ; avec les systèmes électriques en particulier, un réseau n'est vraiment bien exploité que quand l'activité de la circulation est suffisamment grande pour qu'on ne voie que peu de personnes dans les voitures. Ceci peut paraître paradoxal au premier abord, mais il est cependant l'expression de la réalité. L'intérêt du public et celui des Compagnies est intimement lié, celles-ci devant généralement chercher à réaliser le maximum de recettes possible, en abaissant le tarif et en augmentant la fréquence aussi longtemps qu'il peut en résulter pour elles une recette plus grande.

M. de Marchéna cite comme exemple la ligne de Bastille-Charenton qui, avec la traction animale, le tarif élevé et la faible fréquence, perdait de l'argent, tandis qu'actuellement, avec la traction électrique, une recette moyenne de 0,08 *f* par voyageur et une fréquence aussi grande que l'ont permise les conditions de la ligne, fait actuellement une recette d'un million par an avec un coefficient d'exploitation beaucoup plus faible que les autres lignes de la même Compagnie.

M. D. Casalonga appelle l'attention sur ce fait que les rendements varient de 38 à 27 0/0 suivant que la pression augmente; il y a là, selon lui, une contradiction entre ce qui se passe pour l'air comprimé et ce qui se passe pour la vapeur saturée : avec celle-ci le rendement augmente avec la température et la pression. C'est le contraire pour l'air comprimé. Il pense qu'il y a une perte dans l'air comprimé, qui est d'autant plus grande qu'il y a une différence entre la pression initiale et la pression finale, qui représente une constante. C'est là un fait qui n'a pas été approfondi.

MM. L. Périssé et R. Godfernaux ont répondu aux diverses observations présentées sur les points suivants :

1° A MM. Regnard et Rodrigues relativement à la traction funiculaire ;

2° A MM. Hersent, Badois et Mékarski sur le rendement et le prix de revient de la traction par l'air comprimé ;

3° Sur la comparaison entre les voitures électriques et les voitures à air comprimé ;

4° Sur les considérations générales relatives à l'établissement des prix de revient.

Tramways funiculaires. — MM. Périssé et Godfernaux sont très heureux que M. Rodrigues, qui dirige le Tramway funiculaire de Belleville, ait bien voulu faire connaître une série de chiffres inédits intéressants ; ceux-ci viennent rectifier les chiffres moins récents donnés par les auteurs du mémoire, en s'appuyant sur l'autorité de notre éminent Président, M. Dumont.

Au surplus, le Tramway funiculaire de Belleville, tout intéressant qu'il soit à étudier, est un exemple unique qui n'est pas destiné à recevoir à Paris, tout au moins, une deuxième application, car il ne faut pas oublier que ce système est en décadence. En Amérique, par exemple, où les Compagnies de Tramways l'utilisaient en grand, plusieurs Compagnies transforment les tramways à câbles existants en tramways électriques.

Rendement mécanique de l'air comprimé. — On discute depuis longtemps et on discutera longtemps encore sur la question du rendement mécanique du système à air comprimé, c'est-à-dire, sur le rapport entre le travail à la jante des roues des voitures et celui dans les cylindres des machines à vapeur actionnant les pompes de compression, et cependant on n'a pas encore pu se mettre d'accord. C'est que, il faut bien le dire, la question est complexe et dépend de beaucoup de facteurs dont il n'est pas aisé de fixer exactement la valeur.

Le travail produit à la jante des roues par 1 *kg* d'air est fonction de la pression d'admission de l'air dans les cylindres, du degré de détente, de la compression et de la température ; il dépend aussi du rendement de l'appareil moteur, toutes conditions assez variables.

Toutefois, les observations faites sur la ligne Saint-Augustin-Cours de Vincennes permettent d'admettre, comme le mémoire l'indique, que 1 *kg* d'air produit à la jante des roues un travail

de 23874 *kgm.* Ceci est un fait d'expérience résultant d'une exploitation de plusieurs années.

D'un autre côté, le travail théorique nécessaire pour comprimer isothermiquement 1 *kg* d'air à une pression déterminée, dépend de la température constante de l'air pendant la compression; cette température est donc un peu indéterminée. MM. Périssé et Godfernaux ont admis 50° C, ce qui correspond à un travail théorique de 38700 *kgm* pour comprimer 1 *kg* d'air à la pression de 60 *kg* environ, sur la ligne Saint-Augustin-Cours de Vincennes.

Pour obtenir le travail à produire dans le cylindre de la machine à vapeur, ce chiffre devra être affecté de deux coefficients : l'un, relatif au rendement mécanique de la machine à vapeur et l'autre au rendement mécanique de l'appareil compresseur.

Ces deux coefficients seront d'autant plus grands que les moteurs seront plus puissants; il est possible, quoique le chiffre paraisse bien élevé, qu'on arrive, à l'usine Popp, à un rendement global de 80 0/0, soit 89,5 0/0 pour chaque appareil, parce que les moteurs sont d'une grande puissance (10000 *ch*), mais il est certain qu'un pareil rendement global est très difficile à obtenir pour une exploitation de tramways où la puissance motrice n'est généralement pas aussi considérable.

Le rendement de 46,4 0/0 donnant un travail de 83000 *kgm* dans le cylindre de la machine à vapeur, soit une compression de 3,24 *kg* d'air à 60 *kg* par cheval est celui de la ligne de Saint-Augustin. Ces chiffres ont donné un rendement moyen de 29 0/0 qui se rapporte à l'installation spécialement étudiée.

MM. Périssé et Godfernaux souhaitent vivement, sans pouvoir l'affirmer, que dans les nouvelles installations, avec de grosses unités on arrive au rendement indiqué par MM. Badois et Mékarski.

Prix de revient de la traction par l'air comprimé. — Le chiffre de 12 *f*, indiqué par M. Badois pour le prix de revient de la tonne d'air, amortissement déduit, peut s'appliquer à une ville comme Nantes ou à d'autres villes où les frais de main-d'œuvre et le prix du charbon ne sont pas élevés. Mais, pour une ville comme Paris, il semble que ce chiffre serait au-dessous de la réalité; en effet, le prix de 18 *f* indiqué par les auteurs du mémoire est celui auquel arrive la Compagnie des Omnibus pour la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes.

En ce qui concerne les frais d'entretien (qui comprennent l'entretien du matériel roulant aussi bien que celui des moteurs,

dont le chiffre de 0,11 *f* par voiture-kilomètre serait exagéré et devrait être ramené à 0,05 *f* comme pour les voitures à trolley ou à accumulateurs, MM. Périssé et Godfernaux font observer que les appareils moteurs d'une automotrice à air comprimé sont plus nombreux et demandent certainement plus d'entretien et de soin que l'appareil moteur électrique, qui se réduit à une ou deux dynamos motrices dont les organes sont simples et robustes. Ils font observer que ce chiffre de 0,11 *f* a été compté pour l'entretien des automotrices à vapeur, qui est sensiblement le même que celui des automotrices à air comprimé. En tous cas, ils sont heureux de noter les chiffres de 0,07 *f* et de 0,075 *f* indiqués par M. Hersent, dans des exemples, favorables du reste.

Il en est de même pour le chiffre total de 0,25 *f* indiqué par M. Badois, qui peut certainement être exact pour une ville où les conditions d'exploitation sont plus favorables qu'à Paris.

Comparaison entre les systèmes électriques et les systèmes à air comprimé. — MM. Périssé et Godfernaux rappellent qu'on a discuté sur les avantages réciproques des deux systèmes, principalement quand l'automotrice remorque une autre voiture. Or, il n'est pas douteux que l'automotrice à accumulateurs peut remorquer une voiture d'attelage, à la condition toutefois, que le parcours ne soit pas trop long sans rechargement et surtout que le profil ne soit pas difficile, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de démarrages fréquents sur forte rampe. Ces conditions sont souvent incompatibles avec une exploitation facile par accumulateurs, car alors il faut un poids assez élevé de batterie, afin d'éviter des intensités de courants trop considérables au moment des démarrages.

Par exemple, sur la ligne de Saint-Augustin-Cours de Vincennes, dont le parcours est assez long (9,1 *km*) et le profil très difficile, pour une automotrice et une remorque pesant en tout 27 *t*, il faudrait, en supposant un rechargement après chaque voyage aller et retour, un poids d'accumulateurs d'environ 6 500 *kg* et même avec ce poids l'intensité du courant aux démarrages sur forte rampe serait élevé.

C'est donc sur des lignes, sinon de niveau, mais à faibles rampes, comme à Berlin et à Hanovre, que la traction par accumulateurs, avec voiture de remorque, peut se faire assez facilement. C'est, du reste, dans ces conditions favorables que la Compagnie Générale des Omnibus vient d'établir les deux lignes

du Louvre-Cours Vincennes et du Louvre-Vincennes, et encore le poids des accumulateurs est-il de 4 800 *kg*.

Il n'en est pas moins vrai que le système de traction par accumulateurs rend actuellement de très grands services. C'est un système d'*attente* qui permet d'exploiter, dans certaines villes, nombre de lignes où, par suite de considérations esthétiques, l'exploitation par trolley ne peut être établie, du moins pour le moment.

La traction électrique par conducteurs avec prise de courant, soit par trolley, soit par contact superficiel est, sans contredit, le système qui, actuellement, permet le mieux de faire face à une exploitation intensive sur une ligne longue et à profil accidenté, et cela avec les dépenses de traction les plus faibles. Car alors l'intensité plus ou moins grande du courant résultant des rampes ou des démarrages est fournie directement par l'usine centrale, laquelle est outillée pour y faire face.

D'autre part, la traction par l'air comprimé donne d'excellents résultats. La remorque se fait sans difficulté et les démarrages sur des rampes de 30 à 40 *mm* s'opèrent rapidement; dans la rue Lafayette, par exemple, à certaines heures, la circulation est tellement active que les automotrices avec remorque de la ligne Saint-Augustin-Cours de Vincennes sont très souvent arrêtées et forcées de démarrer sur des rampes de 35 *mm*. Elles le font sans difficulté et reprennent leur vitesse de marche avec une accélération remarquable.

La traction par l'air comprimé peut, jusqu'à un certain point, lutter sur les profils accidentés avec la traction électrique par trolley, mais elle nécessite des rechargements qui doivent se faire après un parcours assez limité et dépendant du profil ; de là, perte de temps. Leur poids est forcément plus élevé que celui des automobiles à trolley, en raison du poids des appareils moteurs, plus compliqués et plus nombreux, et du poids des réservoirs d'air et d'eau, d'où des dépenses d'entretien plus élevées.

Ce sont probablement ces considérations qui ont engagé la Société des tramways Nogentais qui, depuis 1887, employait la traction par l'air comprimé, à transformer ses lignes en traction électrique par trolley.

Quoi qu'il en soit, dans de grandes villes comme Paris et sur des lignes où la circulation est intense et où la traction électrique par trolley est inadmissible, où les profils sont difficiles, et

où les usines centrales peuvent être installées commodément et avoir des unités puissantes en servant à l'alimentation de plusieurs lignes convergentes, la traction par l'air comprimé peut être avantageuse. C'est le cas des nouvelles installations de la Compagnie générale des Omnibus.

Considérations générales sur les prix de revient. — MM. L. Périssé et R. Godfernaux remercient M. Marquet des renseignements qu'il a communiqués à la Société au point de vue du prix de revient de l'*exploitation* des tramways. Il a donné des chiffres basés sur des considérations sérieuses, bien que quelques-uns d'entre eux puissent être critiqués, ce que ne manqueront pas de faire probablement les intéressés.

Ils rappellent que, dans leur mémoire, ils n'ont pas voulu faire une étude des prix de revient d'une exploitation, mais simplement un essai de détermination des *dépenses de traction* proprement dites, des différents systèmes. Cette étude, qui a été ajoutée au mémoire, à la demande de notre Président de l'année dernière, ne figurait pas dans l'exposé fait en séance le 2 octobre dernier.

Il a été bien spécifié (pages 123 et 124) qu'elle se rapportait à des exemples pris, pour la plupart à *Paris*, c'est-à-dire, qui représentent des *maxima*, sauf bien entendu pour le système à trolley, qui n'a pas de véritables applications à Paris. Ils peuvent affirmer que les chiffres donnés par eux, correspondent, à très peu de chose près, aux prix réels que coûte la traction à Paris.

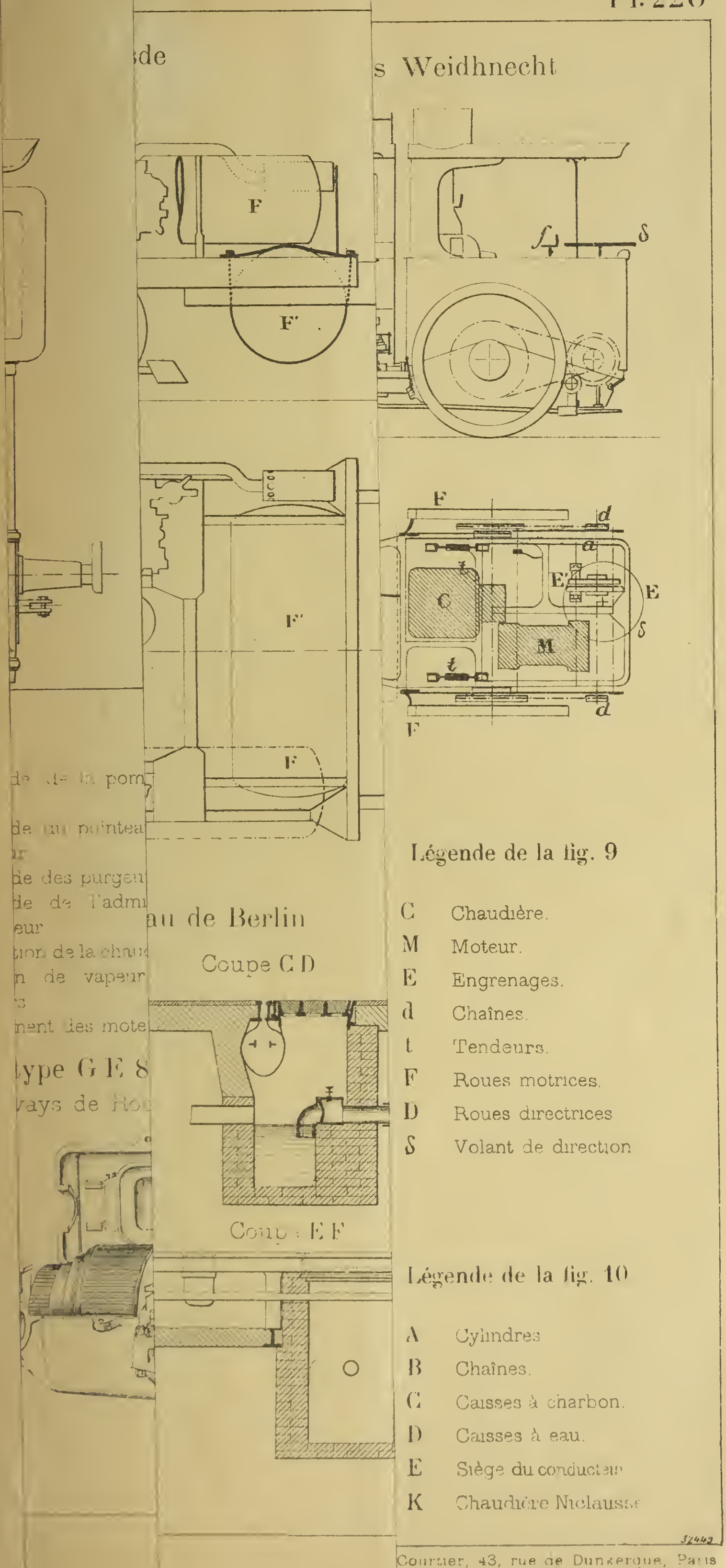
Au surplus, il est très difficile de comparer leurs chiffres avec ceux accusés par les comptabilités des Compagnies, car il arrive que celles-ci comprennent dans leurs prix de traction des éléments qui peuvent ne pas figurer dans les évaluations du mémoire et réciproquement.

Ils se félicitent que leur communication ait servi de prétexte à la production de chiffres aussi intéressants que ceux qui ont été donnés sur les exploitations de Nantes, Vichy et les chemins de fer Nogentais pour l'air comprimé, et sur les exploitations d'Amiens et d'Alger pour la traction électrique, etc.

Leur étude sur les dépenses de traction n'avait d'autre but que de donner matière à discussion pour mettre en évidence certains points ; ils sont heureux de voir que ce but a été largement atteint et ils ne peuvent que remercier nos Collègues de leurs précieuses communications.

TABLE DES MATIÈRES

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 1830-1-00. — (Encre Lorilleux).



Légende de la fig. 9

C Chaudière.
M Moteur.
E Engrenages.
d Chaînes.
t Tendeurs.
F Roues motrices.
D Roues directrices
S Volant de direction

Légende de la fig. 10

A Cylindres
B Chaînes.
C Caisses à charbon.
D Caisses à eau.
E Siège du conducteur
K Chaudière Niclausse

Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

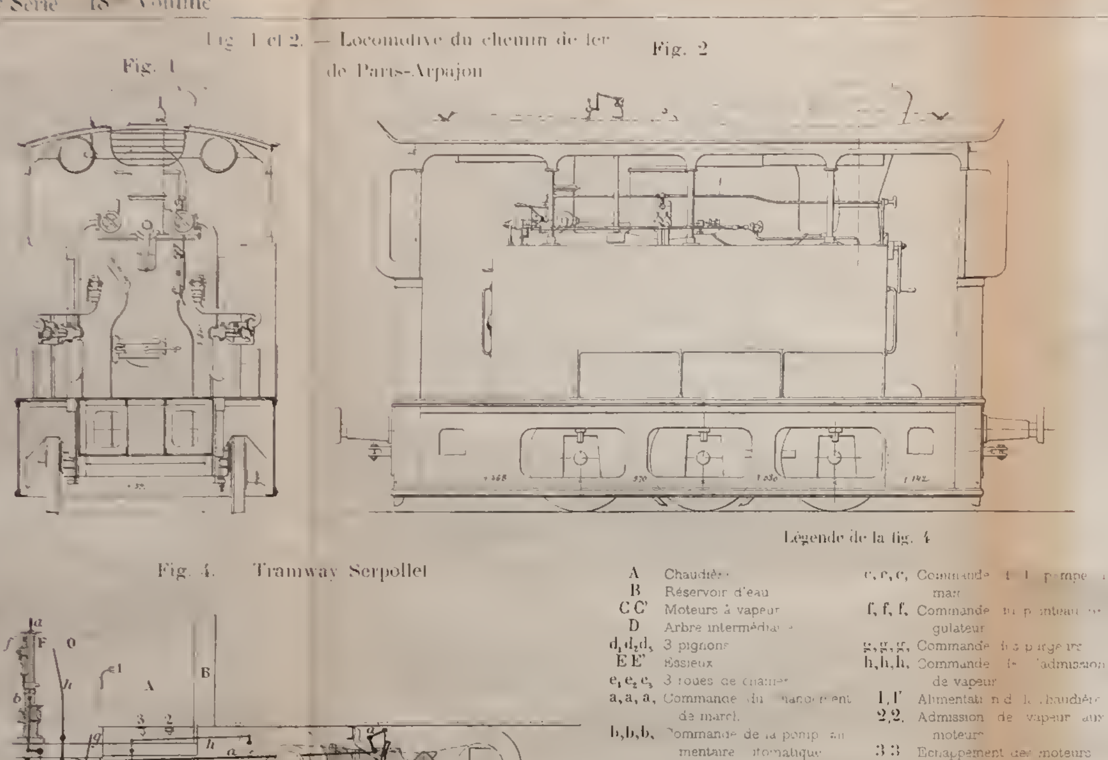


Fig. 1 et 2. — Locomotive du chemin de fer de Paris-Arpajon

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 4. — Tramway Serpollet

Légende de la fig. 4

A	Chaudière	$c, c, c,$	Commande de la pompe à main
B	Réservoir d'eau	$f, f, f,$	Commande du pointeau régulateur
C C'	Moteurs à vapeur	$g, g, g,$	Commande des purgeurs
D	Arbre intermédiaire	$h, h, h,$	Commande de l'admission de vapeur
$d_1 d_2 d_3$	3 pignons	1, 1'	Alimentation de la chaudière
E E'	Essieux	2, 2.	Admission de vapeur aux moteurs
$e_1 e_2 e_3$	3 roues de chaîne	3 3	Échappement des moteurs
$a, a, a,$	Commande du changement de marche		
$b, b, b,$	Commande de la pompe alimentaire automatique		

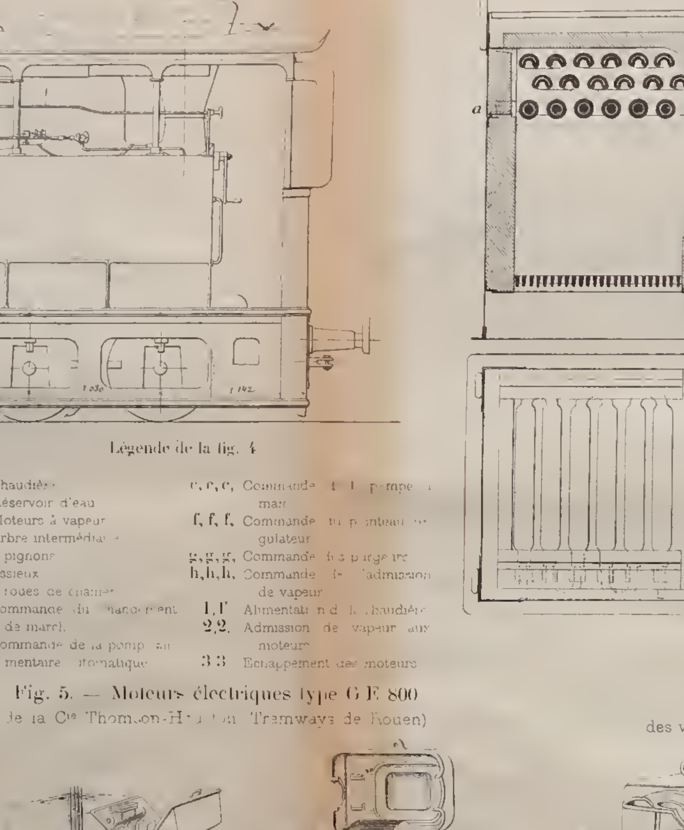


Fig. 5. — Moteurs électriques type G E 800 (de la Cie Thomson-Houston, Tramways de Rouen)

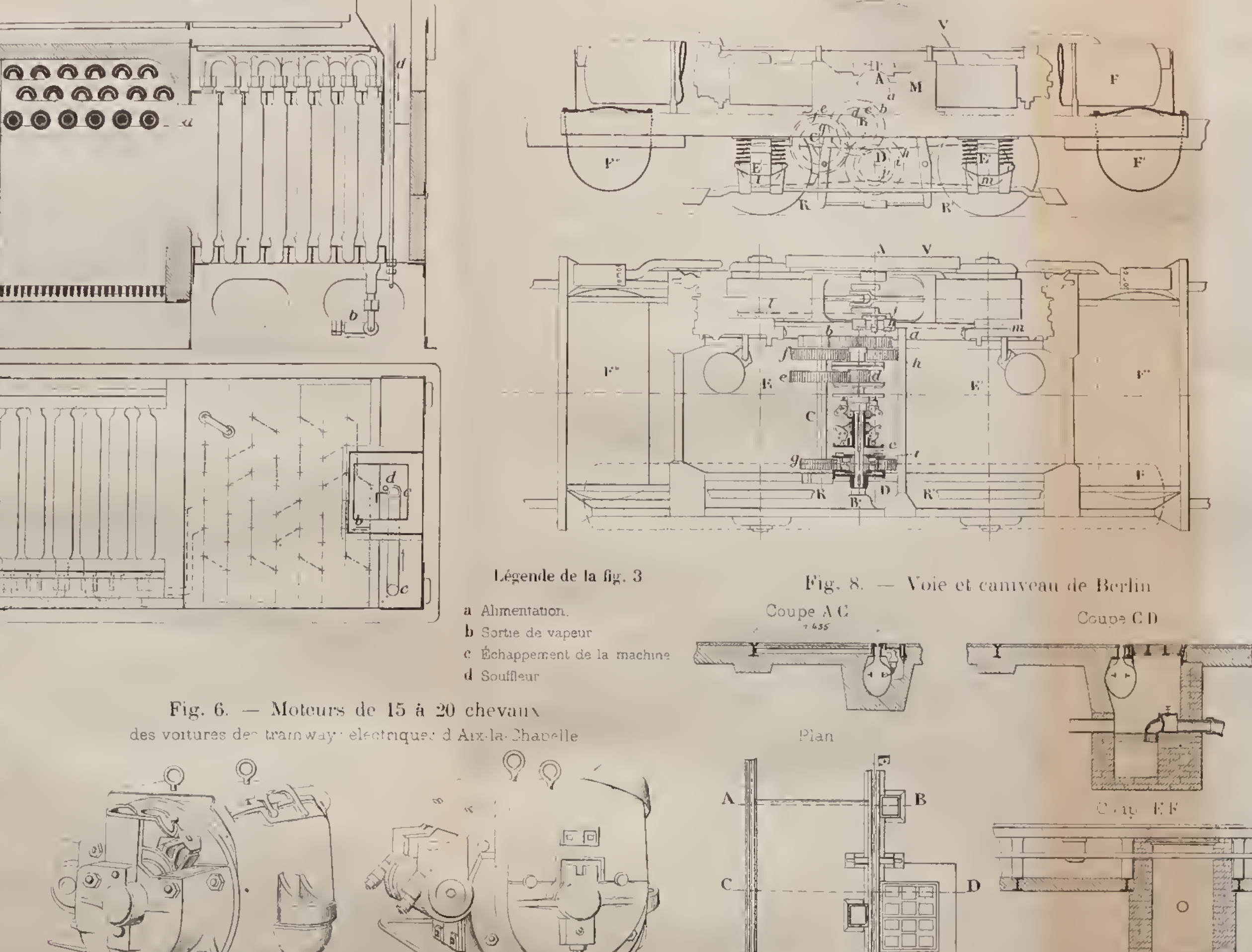


Fig. 3. — Générateur Serpollet

Légende de la fig. 3

a Alimentation.
b Sortie de vapeur
c Échappement de la machine
d Souffleur

Fig. 6. — Moteurs de 15 à 20 chevaux des voitures des tramways électriques d'Aix-la-Chapelle

Fig. 7. — Tramway à gaz de Dresde

Fig. 8. — Voie et caniveau de Berlin

Légende de la fig. 7

M	Moteur à gaz
V	Volant
A	Arbre moteur
B C D	Arbres intermédiaires
a b c d e f g h i	Engrenages
j k	Pignons de chaîne
l m	Roues de chaîne
E E'	Essieux
F F' F''	Réservoirs de gaz

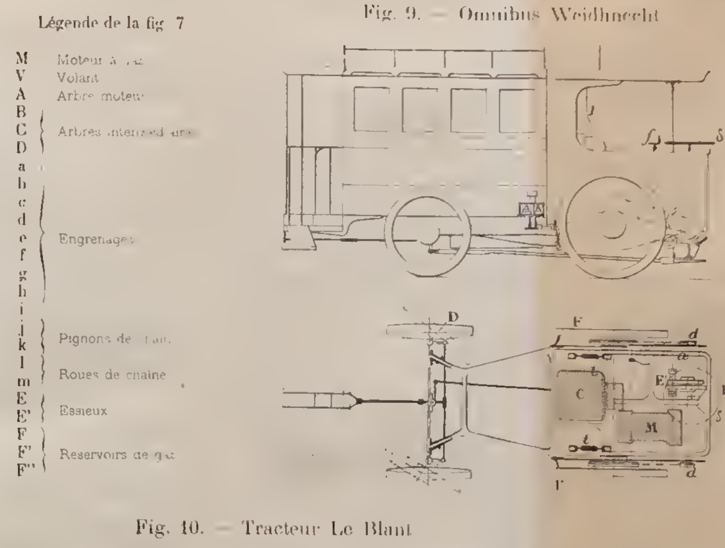


Fig. 9. — Omnibus Weidknecht

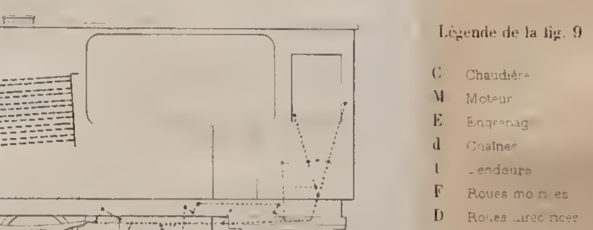
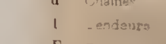
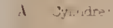


Fig. 10. — Tracteur Le Blant



Légende de la fig. 9

C	Chaudière
M	Moteur
E	Engrenag
d	Chaînes
t	Tendeurs
F	Roues motrices
D	Roues directrices
S	Volant de direction



Légende de la fig. 10

A	Cylindres
B	Chaînes
C	Caisses à charbon
D	Caisses à eau
E	Siège du conducteur
K	Chaudière Niclausse

Auto-imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Fig. 1 — Tramway Mekarski C. G. O.

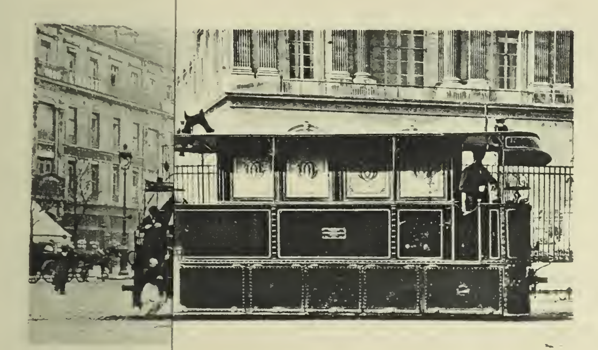


Fig. 2. — Locomotive Mekarski C. G. O.



Fig. 3. Fig. 11. — Train Scotte



Fig. 2. — Omnibus de Dion-Bouton

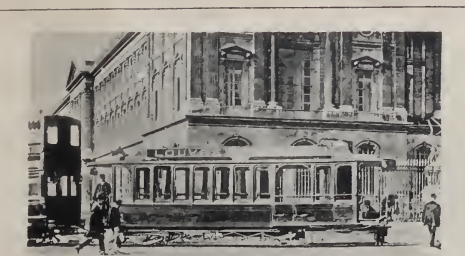


Fig. 1. — Tramway Rowan C. G. O.



Fig. 2. — Tramway Serpollet C. G. O.



Fig. 3. — Tramway Purrey C. G. O.

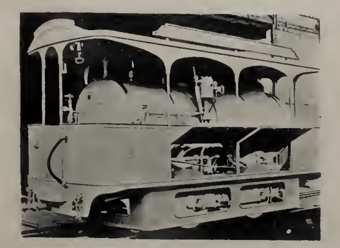


Fig. 4. — Locomotive Francq
Poissy à Saint-Germain



Fig. 5. — Tramway à accumulateurs T. P. D. S



Fig. 6. — Tramway à accumulateurs T. P. D. S.



Fig. 7. — Tramway électrique de Charenton C. G. T.



Fig. 8. — Tramway à gaz Blackpool



Fig. 9. — Tramway Mekarski C. G. O.



Fig. 10. — Locomotive Mekarski C. G. O.



Fig. 11. — Train Scotte



Fig. 12. — Omnibus de Dion-Bouton

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 1852-3-00. — (Encre Lorilleux).